



TUGAS AKHIR - MO184804

**ANALISIS ON BOTTOM STABILITY TRUNK LINE: STUDI
KASUS DARI CONDENSATE TANK DI KILANG MINYAK
MENUJU SPM DI AREA PAGERUNGAN BESAR**

INTAN DWI AMALIA

NRP. 04311540000002

Dosen Pembimbing :

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknolgi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**



FINAL PROJECT - MO184804

**ON BOTTOM STABILITY ANALYSIS OF TRUNK LINE:
STUDY CASE FROM *CONDENSATE TANK* ON ONSHORE
PRODUCTION FACILITIES TO SPM OF PAGERUNGAN
BESAR AREA**

INTAN DWI AMALIA

NRP. 04311540000002

Dosen Pembimbing :

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2019

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS ON BOTTOM STABILITY TRUNK LINE: STUDI KASUS DARI CONDENSATE TANK DI KILANG MINYAK MENUJU SPM DI AREA PAGERUNGAN BESAR

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi
Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

INTAN DWI AMALIA

NRP. 04311540000002

Disetujui Oleh:

1. Ir. Imam Rochani, M.Sc

(Pembimbing 1)

2. Nur Syahroni, S.T., Ph.D

(Pembimbing 2)



3. Dr. Ir. Handyanu, M.Sc.

(Penguji 1)

Surabaya, Januari 2019

**ANALISIS ON BOTTOM STABILITY TRUNK LINE: STUDI KASUS DARI
CONDENSATE TANK DI KILANG MINYAK MENUJU SPM DI AREA
PAGERUNGAN BESAR**

Nama : Intan Dwi Amalia
NRP : 04311540000002
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Imam Rochani, M.Sc.
Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Dalam dunia industri migas penggunaan pipa bawah laut terbukti lebih ekonomis sebagai moda transportasi minyak dan gas. Selain itu pipa, bawah laut juga tahan terhadap kondisi lingkungan yang buruk. Namun apabila pipa bawah laut mengalami kegagalan akan sangat merugikan dari aspek ekonomi dan lingkungan sehingga perlu dilakukan analisis pipa bawah laut. Tugas Akhir ini membahas tentang perencanaan *export pipeline* milik PT. X. Adapun *pipeline* ini digunakan untuk menyalurkan *condensate* dari tangki *condensate* di kilang minyak menuju SPM. Analisis *on bottom stability* yang dilakukan berdasarkan *code* DNV RP F-109 mengenai “*On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*”. Dikarenakan profil *seabed* yang tidak rata maka perlu dilakukan analisis stabilitas pada beberapa KP sepanjang *pipeline* tersebut, yaitu; KP 900, 1000, 1100, 1200, 1300, dan 2600. Dari analisis pada kondisi operasi yang telah dilakukan didapatkan besar gaya hidrodinamis arah horizontal paling besar adalah pada KP 1200 sebesar 88,8 N/m dan 235,3 N/m untuk arah vertical di KP 2600. Berdasarkan analisis kriteria desain stabilitas vertikal adalah 0.492 dan kriteria desain stabilitas lateral 0,2158 dan 0,1647. Hasil analisis stabilitas menunjukkan berat terendam minimum pipa yang dibutuhkan sebesar 229,3 N/m untuk melawan gaya-gaya yang bekerja disepanjang pipa. Dari hasil analisis yang dilakukan dapat disimpulkan struktur tersebut stabil dan memenuhi kriteria DNV RP F109. Kemudian dilakukan simulasi permodelan menggunakan ANSYS CFX untuk memvalidasi hasil perhitungan sesuai DNV RP F109.

Kata Kunci : *On-Bottom Stability, DNV RP F109, Export Pipeline, Condensate, Gaya Hidrodinamis, ANSYS CFX.*

**ON BOTTOM STABILITY ANALYSIS OF TRUNK LINE: STUDY CASE
FROM *CONDENSATE TANK* ON ONSHORE PRODUCTION FACILITIES
TO SPM OF PAGERUNGAN BESAR**

Name : Intan Dwi Amalia
NRP : 04311540000002
Department : Ocean Engineering
Supervisors : Ir. Imam Rochani, M.Sc.
Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

In the world of oil and gas industry the use of subsea pipelines has proven to be more economical as a mode of transportation of oil and gas. In addition, pipelines under the sea are also resistant due to extreme environments. However, it is necessary to analyze subsea pipelines. This Final Project discusses the planning of the export pipelines owned by PT. X. While this pipe is used to export condensate from condensate tank on onshore production facilities to the SPM. This on bottom stability analysis was carried out through DNV RP F-109 code regarding "On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines". Due to the uneven seabed profile it is necessary to analyze several KPs along the pipeline, namely; KP 900, 1000, 1100, 1200, 1300, and 2600. From the analysis of the operating conditions that have been carried out obtained the largest hydrodynamic force horizontal direction at KP 1200 is 88.8 N m and 235.3 N / m for vertical direction in KP 2600. Based on the criteria design for vertical stability analysis is 0.492 and for lateral criteria design are 0.2158 and 0.1647. The results of the analysis show that the minimum submerged weight requirement is 229.3 N/m to counteract the hydrodynamic forces acting along the pipe. From the results of the analysis conducted, it can be concluded that the structure is stable and fulfill the criteria of DNV RP F109. Then a simulation is performed using ANSYS CFX to validate the calculation results according to DNV RP F109.

Keyword : *On-Bottom Stability, DNV RP F109, Export Pipeline, Condensate, Hydrodynamic Forces, ANSYS CFX.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkat, rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik dan lancar. Tugas Akhir ini berjudul **“Analisis *On Bottom Stability Trunk Line*: Studi Kasus dari *Condensate Tank* Di Kilang Minyak Menuju SPM Di Area Pangerungan Besar”**.

Tugas Akhir ini bertujuan untuk melakukan analisis *On-Bottom Stability* sebuah *pipeline* untuk menghindari terjadinya kegagalan yang akan merugikan. Selain itu, Tugas Akhir ini juga disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Penulis berharap agar karya tulis ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang rekayasa kelautan. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran akan penulis terima sebagai perbaikan penyusunan laporan di masa mendatang.

Surabaya, Januari 2019

Intan Dwi Amalia

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini Penulis tidak terlepas dari bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini kepada:

1. Allah Subhanahu Wata'ala atas berkat, rahmat, dan ridha-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan baik secara moral maupun material kepada penulis selama ini.
3. Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc., dan Bapak Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing I dan II, yang selalu memberikan bimbingan ilmu, motivasi, inspirasi, serta kritik dan saran kepada penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku dosen wali yang senantiasa memberikan dukungan kepada penulis.
5. Seluruh kerabat terdekat penulis yang tidak dapat disebut satu persatu yang senantiasa ada sebagai penyemangat, penghibur, dan selalu ada disaat suka maupun duka.
6. Keluarga TRITONOUS yang telah menemani, membantu, dan memberi dukungan penulis selama masa perkuliahan di Departemen Teknik Kelautan ITS.
7. Senior Teknik Kelautan yang telah membantu penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.
8. Semua pihak terkait yang telah membantu dan memberi kenangan selama ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dan bantuan pihak-pihak tersebut terhadap penulis selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan hingga Tugas Akhir ini tepat pada waktunya.

Surabaya, Januari 2019

Intan Dwi Amalia

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 <i>Pipeline</i> Secara Umum	6
2.2.2 Beban Gelombang.....	6
2.2.2.1 Teori Gelombang	6
2.2.2.2 Spektrum Gelombang JONSWAP	8
2.2.2.3 Transformasi Spektrum Gelombang	9
2.2.3 Kecepatan Arus Laut	12
2.2.4 Beban Hidrodinamis	13
2.2.4.1 Gaya <i>Drag</i>	13
2.2.4.2 Gaya Inersia	14
2.2.4.3 Gaya Angkat.....	14
2.2.5 Reduksi Beban.....	15
2.2.5.1 Reduksi Beban Akibat Interaksi Pipa dan Tanah.....	15

2.2.5.2	Reduksi Beban Akibat <i>Permeable Seabed</i>	16
2.2.5.3	Reduksi Beban Akibat Penetrasi	16
2.2.5.4	Beban Reduksi Akibat <i>Trenching</i>	16
2.2.6	Stabilitas Pipa Bawah Laut	17
2.2.6.1	Berat Terendam Pipa	17
2.2.6.2	Stabilitas Vertikal	18
2.2.6.3	<i>Absolute Lateral Static Stability</i>	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		23
3.1	Diagram Alir.....	23
3.2	Penjelasan Diagram Alir.....	25
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		27
4.1	Umum	27
4.2	Pengumpulan Data.....	28
4.3	Perhitungan Properti Pipa.....	30
4.4	Perhitungan Berat Terendam Pipa.....	30
4.5	Analisis Stabilitas Vertikal.....	30
4.6	Analisis Gaya Hidrodinamis.....	31
4.7	Stabilitas Lateral.....	32
4.8	Analisis Berat Terendam Minimum	33
4.9	Permodelan Menggunakan <i>Software</i> ANSYS	34
4.9.1	Simulasi Permodelan.....	34
4.9.2	Validasi C_y^* dan C_z^*	37
4.9.3	Validasi Gaya Hidrodinamis	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Validitas Teori Gelombang.....	7
Gambar 2. 2 Kecepatan amplitude signifikan U_s pada dasar laut.....	11
Gambar 2. 3 <i>Mean zero up-crossing period</i> dari osilasi aliran T_u pada dasar laut.....	11
Gambar 2. 4 Ilustrasi Penetrasi (DNV RP F 109, 2010).....	16
Gambar 2. 5 Gaya yang Bekerja pada Pipa Bawah Laut	17
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	23
Gambar 4. 1 Peta Lokasi Jalur <i>Pipeline</i>	27
Gambar 4. 2 Model <i>Sketch</i> Pipa pada <i>Solidworks</i> Tampak Depan.....	34
Gambar 4. 3 Model <i>Sketch</i> Pipa pada <i>Solidworks</i> Tampak Isometri	34
Gambar 4. 4 <i>Setup Inlet</i> pada ANSYS	35
Gambar 4. 5 <i>Setup Outlet</i> pada ANSYS	35
Gambar 4. 6 <i>Boundary Soil</i>	36
Gambar 4. 7 <i>Boundary Wall</i>	36
Gambar 4. 8 Hasil C_y^* pada <i>Software</i> ANSYS	37
Gambar 4. 9 Hasil C_z^* pada <i>Software</i> ANSYS	37
Gambar 4. 10 Hasil Simulasi KP 900 Tampak Isometri.....	38
Gambar 4. 11 Hasil Simulasi KP 900 Tampak Depan.....	38
Gambar 4. 12 Hasil Simulasi KP 2600 Tampak Isometri.....	39
Gambar 4. 13 Hasil Simulasi Tampak Depan KP 2600 Tampak Isometri	39

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Propertis Pipa.....	28
Tabel 4. 2 <i>Water Level</i>	28
Tabel 4. 3 Data Arus	28
Tabel 4. 4 Data Gelombang	29
Tabel 4. 5 <i>Soil Parameter</i>	29
Tabel 4. 6 Data Analisis Kondisi Operasi.....	29
Tabel 4. 7 Properti Pipa.....	30
Tabel 4. 8 Berat Terendam Pipa.....	30
Tabel 4. 9 <i>Vertical Stability Check</i>	31
Tabel 4. 10 Parameter Hidrodinamis	31
Tabel 4. 11 Koefisien K^* , M^* , C_y^* , dan C_z^*	32
Tabel 4. 12 Gaya Hidrodinamis Horizontal dan Vertikal	32
Tabel 4. 13 <i>Absolute Static Stability Check</i>	32
Tabel 4. 14 Analisis Berat Minimum.....	33
Tabel 4. 15 C_y^* dan C_z^* Hasil Perhitungan DNV RP F 109 dengan Permodelan.....	37
Tabel 4. 16 Gaya Hidrodinamis Hasil Permodelan.....	40
Tabel 4. 17 Validasi Gaya Hidrodinamis Hasil Perhitungan sesuai DNV RP F 109 dengan Permodelan	40

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sumber daya energi terutama minyak dan gas masih mendominasi pangsa energi global, dan posisi ini diperkirakan sampai dengan tahun 2030 (Elanda, 2011). Minyak dan gas bumi adalah sumber energi utama yang sangat dibutuhkan oleh manusia. Permintaan akan minyak dan gas bumi ini akan terus meningkat, sehingga manusia akan terus mendorong perkembangan teknologi untuk kegiatan eksplorasi dan eksploitasi (Tsani, 2017). Hal ini memaksa industri lepas pantai untuk melakukan eksplorasi dan eksploitasi di wilayah perairan yang lebih dalam dan jauh dari daratan. Oleh karena itu, infrastruktur bangunan laut seperti kapal, anjungan minyak lepas pantai, dan saluran pipa bawah laut adalah mutlak diperlukan (Hadiwiananta, 2017).

Pipeline Engineering atau Teknik Perpipaan merupakan suatu rekayasa teknik tentang sebuah struktur pipa yang sering digunakan sebagai sistem pendistribusian minyak dan gas bumi (Soegiono, 2007). *Pipeline* digunakan dalam berbagai macam tujuan salah satu diantaranya adalah sebagai *trunk line* yakni mengangkut minyak dan/atau gas dari fasilitas produksi menuju daratan (Mousselli, 1981).

Industri minyak dan gas telah membuktikan bahwa penggunaan pipa bawah laut jauh lebih ekonomis untuk transportasi minyak bumi dalam skala yang besar. Selain itu pipa bawah laut juga tahan terhadap kondisi lingkungan yang buruk (Guo *et al*, 2005). Namun apabila pipa bawah laut mengalami kegagalan akan sangat merugikan dari aspek ekonomi dan lingkungan sehingga perlu dilakukan analisis pipa bawah laut (Tien *et al*, 2015).

Atas dasar itulah PT. X berencana memperbaiki *condensate export pipeline* yang usianya sudah hampir 30 tahun. *Pipeline* ini mengalirkan *condensate* dari *condensate tank* di kilang minyak menuju SPM PLEM sejauh 2,6 km yang terletak di daerah Pagerungan Besar. Studi kasus perencanaan *pipeline* menggunakan pipa dengan diameter lebih kecil dari *existing pipeline*.

Dalam perencanaan ini perlu dilakukan analisis *on bottom stability* agar pipa dapat stabil di dasar laut. Dalam operasinya, pipa cenderung mengalami pergeseran baik secara lateral maupun vertikal akibat gaya hidrodinamis. Kestabilan pipa pada saat berada di dasar laut menjadi hal yang sangat penting pada struktur pipa bawah laut. Pipa bawah laut harus didesain dapat menahan beban dan gaya-gaya lingkungan yang bekerja pada pipa selama pipa beroperasi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Berapa besar gaya hidrodinamis yang berkerja di sepanjang pipa?
2. Bagaimana stabilitas lateral dan vertical pipa berdasarkan DNV RP F 109?
3. Berapa *submerged weight requirement* agar pipa dapat stabil dibawah laut?

1.3 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dalam Penelitian ini adalah :

1. Menghitung besar gaya hidrodinamis yang bekerja sepanjang pipa bawah laut
2. Menghitung nilai stabilitas lateral dan vertical pipa berdasarkan DNV RP F-109
3. Menghitung nilai *submerged weight requirement* agar pipa dapat stabil dibawah laut berdasarkan DNV RP F-109.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari hasil analisis ini adalah diharapkan dapat disajikan perhitungan dan analisis tentang perencanaan awal *offshore pipeline* yaitu *on bottom stability* yang sesuai dengan *codes* dan *standard* yang berlaku sehingga dapat dijadikan acuan serta diaplikasikan secara praktis di lapangan.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa batasan-batasan agar pembahasan tidak terlalu meluas, yaitu :

1. Data pipa dan segala sumber informasinya bersumber dari data milik PT. X
2. Tugas akhir ini hanya menganalisis stabilitas pipa bawah laut dari *condensate tank* menuju SPM PLEM
3. Analisis stabilitas pipa dilakukan hanya pada kondisi operasi saja
4. Tanah diasumsikan berjenis *very soft clay* dan homogen disepanjang pipa
5. *Code* yang dipakai untuk analisis *on bottom stability* adalah DNV RP F109 tahun 2010 mengenai *On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*
6. Fluida yang dialirkan melalui pipa yang dianalisis dianggap sebagai beban statis
7. Pengaruh *free span* diabaikan.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Pada bab satu berisi latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan dari penelitian, manfaat yang akan didapat, batasan masalah, hipotesis penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab dua berisi tinjauan pustaka dan dasar teori yang menjadi sumber referensi dari tugas akhir ini. Tinjauan pustaka menjadi acuan dari penelitian tugas akhir. Serta dasar teori, rumus-rumus, dan *code* yang digunakan dalam tugas akhir dibahas secara rinci dalam bab dua.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab tiga dalam penulisan tugas akhir ini akan menjelaskan tentang metodologi yang akan digunakan penulis untuk menyelesaikan permasalahan yang ada, meliputi: pengumpulan data–data awal, analisa data, pembahasan dan terakhir adalah mengambil kesimpulan dari hasil pengerjaan tugas akhir ini.

BAB IV Analisa dan Pembahasan

Pada bab ini akan dilakukan analisis *on bottom stability trunk line*. Bab ini membahas pengolahan data hasil dari perhitungan hingga menghasilkan kesimpulan yang menjadi tujuan dari tugas akhir.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Pada bab lima berisikan kesimpulan serta saran yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dari tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Kestabilan pipa pada saat berada di dasar laut menjadi hal yang sangat penting pada struktur pipa bawah laut. Pipa bawah laut harus didesain dapat menahan beban dan gaya-gaya lingkungan yang bekerja pada pipa sehingga pipa dapat kuat dan stabil pada saat instalasi, *hydrotest* dan selama masa operasional. Pipa yang tidak stabil akan mengganggu proses pendistribusian minyak, gas dan infrastruktur lainnya.

Analisis stabilitas pipa merupakan analisis mengenai interaksi lingkungan dan pipa yang kompleks. Interaksi yang terjadi antara pergerakan arus air laut yang melalui pipa dan kombinasi antara berat pipa ketika tenggelam dengan koefisien gesek antara permukaan pipa dengan permukaan dasar laut. Arus yang terjadi dapat dibangkitkan oleh gelombang atau arus yang dibangkitkan oleh pasang surut sehingga menimbulkan gaya-gaya hidrodinamika yang bekerja pada pipa.

Pipa yang diletakkan di dasar laut akan mendapat beban lingkungan baik beban gelombang maupun beban arus yang *steady*. Pada daerah dasar laut ada kemungkinan kerusakan pipa terjadi akibat gerakan vertical dan lateral pipa. Maka diperlukan persyaratan yang harus dipenuhi agar berat pipa cukup untuk menjamin stabilitas dalam keadaan lingkungan yang paling buruk (Soegiono, 2007). Untuk mengatasi stabilitas pipa tersebut telah diatur dalam code DNV (Det Norske Veritas) RP F109 tentang *On Bottom Stability Design Of Submarine Pipeline*.

Pada tahun 2007 DNV (Det Norske Veritas) menerbitkan standar *code* yang baru DNV RP F109 *On Bottom Stability Design Of Submarine Pipeline* sebagai pengganti DNV RP E305 (1988), dengan adanya penambahan faktor reduksi gaya akibat *permeable* dasar laut, reduksi gaya akibat terjadinya penetrasi pipa ke tanah, dan reduksi gaya akibat *trenching*.

Pada tahun 1993 PT. X telah melakukan analisis *on bottom stability existing pipeline* sehingga didapatkan stabilitas pipa bawah laut sesuai *code* DNV RP E 305 (1988). Kemudian, Siantur (2008) juga melakukan perhitungan stabilitas pipa

dengan ketebalan *concrete coating* yang berbeda-beda hingga didapatkan tebal *concrete coating* yang mencukupi dan diperoleh faktor keamanan yang diinginkan dengan DNV RP E305 (1988).

Asian (2013) telah melakukan analisis perencanaan *subsea pipeline* meliputi *On Bottom Stability* sehingga didapatkan stabilitas pipa bawah laut yang memenuhi kriteria code DNV RP F109 (2010) serta jumlah anoda yang diperlukan sebagai perlindungan katodik sesuai *code* ISO 15589-2 dan dilengkapi DNV RP F103.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pipeline Secara Umum

Pipa penyalur (*pipeline*) merupakan sarana yang banyak digunakan untuk mentransmisikan fluida pada industri minyak dan gas (migas). Penggunaannya cukup beragam, antara lain digunakan untuk menyalurkan fluida dari sumur menuju tempat pengolahan atau antar bangunan anjungan lepas pantai (*offshore facility*) ataupun dari bangunan anjungan lepas pantai langsung ke darat (*onshore facility*).

Secara umum *pipelines* dibagi menjadi tiga kategori :

1. Export line/Trunk line

Export pipeline adalah *pipeline* yang menyalurkan minyak atau gas olahan antara satu *platform* ke *platform* lain (antar *platform*).

2. Flowline

Flowline adalah *pipeline* yang menyalurkan fluida dari sumur pengeboran menuju fasilitas produksi.

3. Injection line

Injection line adalah *pipeline* yang mengarahkan cairan atau gas untuk mendukung aktifitas produksi (contoh: injeksi air atau gas, *gas lift*, *chemical injection line*).

2.2.2 Beban Gelombang

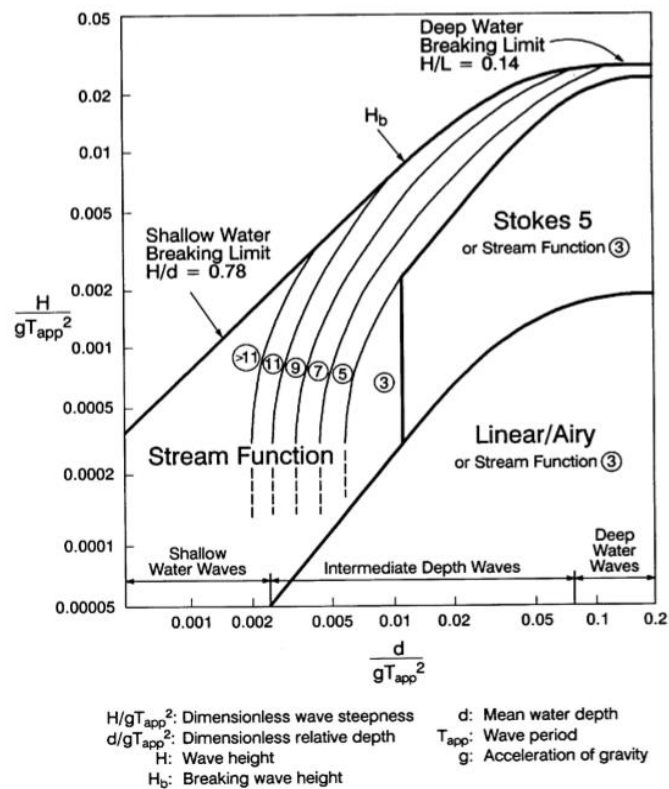
2.2.2.1 Teori Gelombang

Gaya-gaya yang terjadi terhadap pipa akibat gelombang laut dapat dianalisis menggunakan teori gelombang linier. Dari ketentuan yang berlaku pada teori gelombang tersebut, kemudian dilakukan analisa terhadap kondisi untuk

memperoleh kecepatan dan percepatan secara vertikal maupun horizontal partikel fluida untuk setiap kedalaman. Menurut Chakrabarti (1987) penentuan teori gelombang disesuaikan dengan grafik validitas teori gelombang dengan berdasarkan parameter pada **Persamaan 2.1**.

$$\frac{H}{gT^2} \text{ dan } \frac{d}{gT^2} \quad (2.1)$$

Kemudian hasil dari formula tersebut akan disesuaikan dengan grafik validitas “*Region of Validity of Wave Theories*” pada **Gambar 2.1** sehingga dapat diketahui teori gelombang mana yang akan digunakan.



Gambar 2. 1 Grafik Validitas Teori Gelombang
(Sumber: API RP 2A-LRFD, 1997)

Kondisi gelombang osilasi pada suatu kedalaman dapat diperhitungkan dengan dua cara yaitu *numerical* dan *analytical* untuk teori gelombang. Untuk jangka pendek, gelombang *irregular* dideskripsikan dengan spektrum gelombang. Spektrum gelombang yang sering digunakan adalah JONSWAP *short term* dengan periode yang digunakan (ω) 0-3.

2.2.2.2 Spektrum Gelombang JONSWAP

Menurut Djatmiko (2012), JONSWAP merupakan suatu proyek yang dilakukan secara bersama oleh sejumlah negara untuk melakukan penelitian tentang gelombang di laut atau perairan utara. Spektrum JONSWAP dapat dicari dengan **Persamaan 2.2**.

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \cdot \gamma^{\exp\left(-0.5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right)} \quad (2.2)$$

Dimana :

α : Konstanta Generalized Philips

γ : *Peak enhancement factor*

ω : Frekuensi gelombang ($2\pi/T$)

g : Percepatan gravitasi (9.81 m/s^2)

ω_p : Frekuensi gelombang puncak = $2\pi/T_p$

σ : *Width spectral* parameter

Konstanta Generalized Philips ditentukan dalam **Persamaan 2.3**:

$$\alpha = \frac{5}{16} \frac{H_s^2 \omega_p^4}{g^2} (1 - 0,287 \cdot \ln \gamma) \quad (2.3)$$

Ketentuan parameter lebar *spectral* diperoleh dari **Persamaan 2.4**:

$$\sigma = \begin{cases} 0,07 & \text{jika } \omega \leq \omega_p \\ 0,09 & \text{jika } \omega > \omega_p \end{cases} \quad (2.4)$$

Peak Enhancement factor didapat dengan ketentuan dalam **Persamaan 2.5**:

$$f(x) = \begin{cases} 5,0 & \varphi \leq 3,6 \\ \exp(5,75 - 1,15\varphi) & 3,6 < \varphi < 5,0; \\ 1,0 & \varphi \geq 5,0 \end{cases} \quad \varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \quad (2.5)$$

Dimana :

H_s : Tinggi gelombang signifikan (m)

T_p : periode puncak gelombang (s)

2.2.2.3 Transformasi Spektrum Gelombang

Setelah didapatkan spektrum gelombang (**Persamaan 2.2**) maka perlu dicari *spectra* kecepatan gelombang pada dasar laut $S_{uu}(\omega)$ dalam **Persamaan 2.6** berikut:

$$S_{uu}(\omega) = G^2(\omega) \cdot S_{\eta\eta}(\omega) \quad (2.6)$$

Dimana:

$S_{uu}(\omega)$: Spektra kecepatan air akibat gelombang di dasar laut

$G(\omega)$: Fungsi transfer

$S_{\eta\eta}(\omega)$: Spektrum JONSWAP

Fungsi transfer G mentransformasikan elevasi permukaan laut menjadi kecepatan gelombang pada dasar laut dengan **Persamaan 2.7** berikut:

$$G(\omega) = \frac{\omega}{\sinh(k \cdot d)} \quad (2.7)$$

Dimana nilai k dan d didapatkan dari iterasi **Persamaan 2.8** berikut:

$$\frac{\omega^2}{g} = k \tanh(k \cdot d) \quad (2.8)$$

Dimana:

k : Angka gelombang

d : Kedalaman perairan (m)

ω : Frekuensi gelombang

Spectral momen ke- n didefinisikan dengan **Persamaan 2.9**.

$$M_n = \int_0^\infty \omega^n S_{uu}(\omega) d\omega \quad (2.9)$$

Dimana:

M_n : Momen Spektrum ke- n

Amplitude aliran kecepatan signifikan pada kedalaman pipa dicari dengan **Persamaan 2.10.**

$$U_s = 2 \sqrt{M_0} \quad (2.10)$$

Dimana :

U_s : Kecepatan rata-rata dasar laut

M_0 : Momen pertama spektra

Mean zero up-crossing period dari aliran osilasi pada kedalaman pipa adalah:

$$T_u = 2\pi \sqrt{\frac{M_0}{M_2}} \quad (2.11)$$

Dimana:

T_u : Periode rata-rata di dasar laut

M_0 : Momen pertama spektra

M_2 : Momen kedua spektra

Diasumsikan teori gelombang linear, U_s didapatkan dari **Gambar 2.2** dan T_u dari **Gambar 2.3**

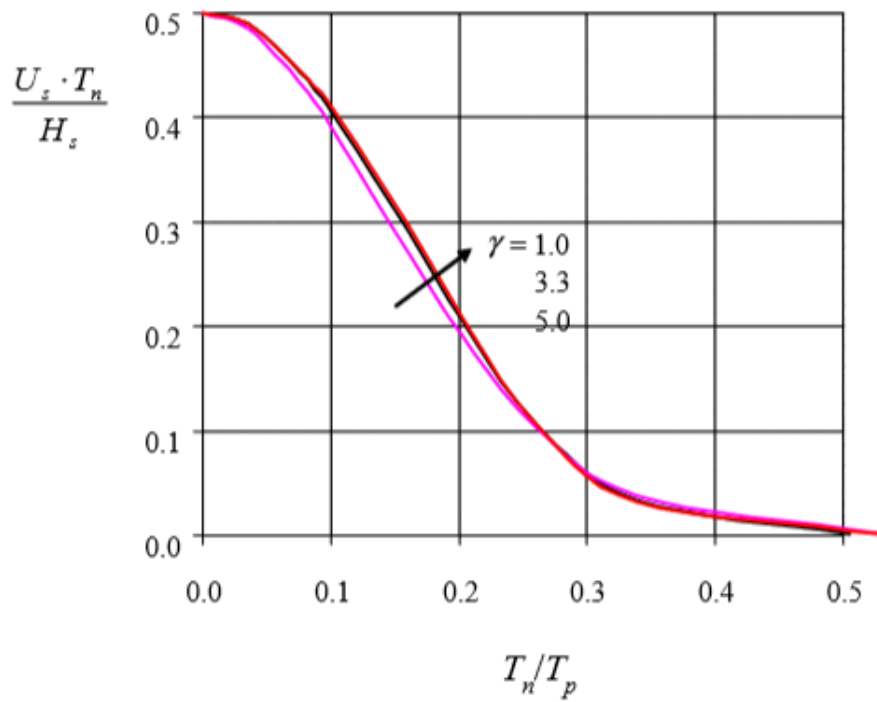
$$T_n = \sqrt{\frac{d}{g}} \quad (2.12)$$

Dimana :

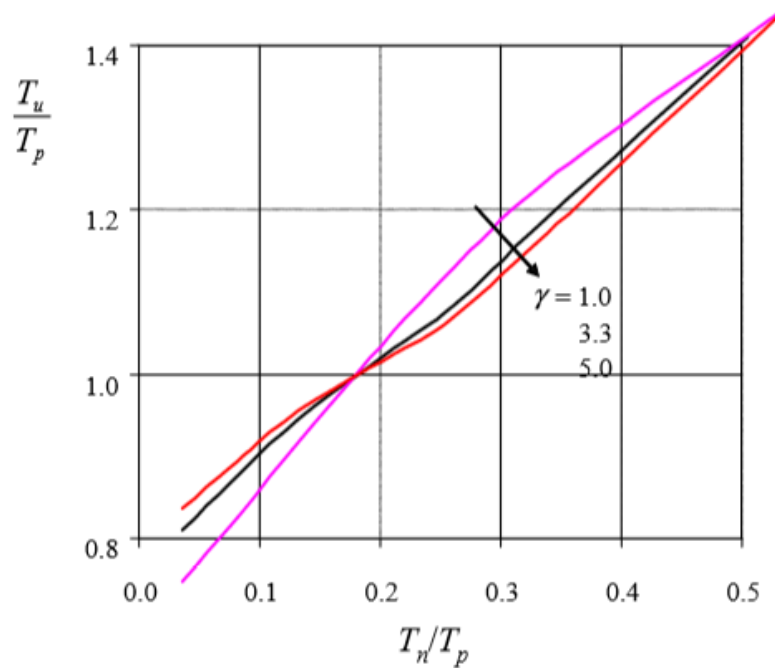
T_n : *Reference period*

d : Kedalaman perairan

g : Percepatan gravitasi



Gambar 2. 2 Kecepatan amplitude signifikan U_s pada dasar laut
(Sumber: DNV RP F109, 2010)



Gambar 2. 3 Mean zero up-crossing period dari osilasi aliran T_u pada dasar laut
(Sumber: DNV RP F109, 2010)

Rasio antara amplitudo kecepatan ekstrim dengan amplitudo kecepatan desain *spectral* τ adalah:

$$k_u = \frac{U^*}{U_s} = \frac{1}{2} = \left(\sqrt{2 \ln \tau} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \ln \tau}} \right) \quad (2.13)$$

Dimana:

K_u : Rasio antara kecepatan maksimum dan kecepatan rata-rata di dasar laut

τ : Jumlah osilasi pada keadaan badai (T/T_u)

Ratio antara periode osilasi kecepatan ekstrim dengan periode rata-rata *zero up-crossing* pada **Persamaan 2.14**.

$$k_T = \frac{T^*}{T_U} = \begin{cases} k_t - 5 \cdot (k_t - 1) \cdot \frac{T_n}{T_u} & \text{for } \frac{T_n}{T_u} \leq 0.2 \\ 1 & \text{for } \frac{T_n}{T_u} > 0.2 \end{cases} \quad (2.14)$$

Dengan kriteria k_t pada **Persamaan 2.15** sebagai berikut:

$$k_t = \begin{cases} 1.25 & \text{for } \gamma = 1.0 \\ 1.21 & \text{for } \gamma = 3.3 \\ 1.17 & \text{for } \gamma = 5.0 \end{cases} \quad (2.15)$$

Dimana:

k_t : Rasio antara periode maksimum dan periode rata-rata di dasar laut

T_u : Periode rata-rata di dasar laut

T_n : *Reference period*

γ : *Peakness* parameter

2.2.3 Kecepatan Arus Laut

Aliran arus *steady* pada pipa berhubungan dengan:

- Pasang surut,
- Angin pembangkit gelombang
- Gelombang akibat badai
- Densitas

Menurut DNV RP F109, untuk tanah berjenis *clay* parameter *seabed roughness* pada **Tabel 2.1** harus digunakan. Kecepatan arus tegak lurus rata-rata yang melewati pipa dapat dilihat dalam **Persamaan 2.16**

$$V_c = V_c(z_r) \cdot \left(\frac{\left(1 + \frac{z_0}{D}\right) \cdot \ln\left(\frac{z_0}{D} + 1\right) - 1}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0} + 1\right)} \right) \cdot \sin\theta_c \quad (2.16)$$

Dimana:

V_c : Kecepatan arus pada pipa

$V_c(z_r)$: Kecepatan arus acuan pada pipa

Z_0 : Parameter kekasaran seabed (**Tabel 2.1**)

Z_r : Tinggi referensi

Θ_c : Sudut antara arah datang arus dan pipa

Tabel 2. 1 Seabed Roughness (DNV RP F109, 2010)

<i>Seabed</i>	<i>Grain size d_{50} [mm]</i>	<i>Roughness z_0 [m]</i>
Silt and clay	0.0625	$\approx 5 \cdot 10^{-6}$
Fine sand	0.25	$\approx 1 \cdot 10^{-5}$
Medium sand	0.5	$\approx 4 \cdot 10^{-5}$
Coarse sand	1.0	$\approx 1 \cdot 10^{-4}$
Gravel	4.0	$\approx 3 \cdot 10^{-4}$
Pebble	25	$\approx 2 \cdot 10^{-3}$
Cobble	125	$\approx 1 \cdot 10^{-2}$
Boulder	500	$\approx 4 \cdot 10^{-2}$

2.2.4 Beban Hidrodinamis

Pipa bawah laut cenderung terkena gaya hidrodinamis dari gelombang dan arus. Stabilitas hidrodinamis menggunakan persamaan Morison yang mengaitkan gaya *drag*, gaya inersia dan gaya angkat akibat kecepatan dan percepatan partikel air.

2.2.4.1 Gaya Drag

Gaya *drag* terjadi karena adanya gesekan antara fluida dengan dinding pipa atau yang dikenal sebagai skin friction dan adanya vortex yang terjadi di belakang pipa (*form drag*). Gaya *drag* terjadi karena dipengaruhi

oleh kecepatan aliran. Nilai dari *drag force* dapat dicari dalam **Persamaan 2.17**

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D (U + V)^2 \quad (2.17)$$

Dimana:

F_D : Gaya *drag* (N/m)

ρ : Massa jenis air laut (kg/m^3)

C_D : Koefisien *drag*

D : Diameter luar pipa [dengan *coating*] (m)

U : Kecepatan partikel air akibat gelombang (m/s)

V : Kecepatan arus laut (m/s)

2.2.4.2 Gaya Inersia

Gaya inersia merupakan gaya dari massa fluida yang dipindahkan oleh pipa, nilainya dipengaruhi oleh percepatan partikel air. Gaya inersia ditentukan dalam **Persamaan 2.18**.

$$F_I = \rho C_M \frac{\pi D^2}{4} \frac{du}{dt} \quad (2.18)$$

Dimana:

F_I : Gaya inersia (N/m)

ρ : Massa jenis air laut (kg/m^3)

C_M : Koefisien inersia

D : Diameter luar pipa (m)

2.2.4.3 Gaya Angkat

Gaya angkat adalah gaya hidrodinamik dalam arah vertical. Gaya ini terjadi apabila terdapat konsentrasi *streamline* pada pipa. Konsentrasi *streamline* terjadi di atas silinder pipa yang mengakibatkan gaya angkat ke

atas. Jika terjadi celah sempit antara silinder dan *seabed*, konsentrasi *streamline* di bawah silinder pipa akan mengakibatkan gaya angkat negatif ke arah bawah. Besarnya gaya angkat dirumuskan dalam **Persamaan 2.19**.

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L D (U + V)^2 \quad (2.19)$$

Dimana:

F_L : Gaya angkat (*lift force*) (N/m)

ρ : Massa jenis air laut (kg/m^3)

C_L : Koefisien *lift*

D : Diameter luar pipa (m)

U : Kecepatan partikel air akibat gelombang (m/s)

V : Kecepatan arus laut (m/s)

2.2.5 Reduksi Beban

2.2.5.1 Reduksi Beban Akibat Interaksi Pipa dan Tanah

Beban hidrodinamik dapat mengalami reduksi akibat interaksi pipa dengan tanah. Reduksi yang dialami dapat diakibatkan oleh:

- *permeable seabed* $r_{perm,i}$,
- penetrasi pipa ke *seabed* $r_{pen,i}$
- dan *trenching* $r_{tr,i}$.

Menurut DNV RP F109 nilai total reduksi adalah pada Persamaan **2.20**.

$$r_{tot,i} = r_{perm,i} \cdot r_{pen,i} \cdot r_{tr,i} \quad (2.20)$$

Dengan “i” adalah permisalan y untuk beban horizontal dan z untuk beban vertical.

2.2.5.2 Reduksi Beban Akibat *Permeable Seabed*

Dasar laut yang *permeable* akan membuat aliran mengalir dibawah pipa dan hal itu dapat mengurangi beban vertical sehingga nilai reduksi *permeable seabed* dalam **Persamaan 2.21**.

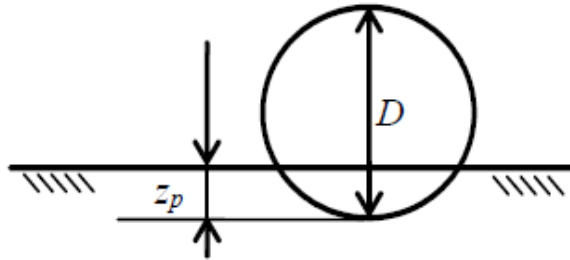
$$r_{perm,z} = 0.7 \quad (2.21)$$

2.2.5.3 Reduksi Beban Akibat Penetrasi

Reduksi beban karena penetrasi bekerja untuk arah horizontal dan vertical. Factor reduksi beban akibat penetrasi pada arah horizontal dan vertical seperti pada **Persamaan 2.22** dan **2.23** serta diilustrasikan pada **Gambar 2.4**.

$$r_{pen,y} = 1.0 - 1.4 \cdot \frac{z_p}{D} \quad \text{however} \geq 0.3 \quad (2.22)$$

$$r_{pen,z} = 1.0 - 1.3 \cdot \frac{z_p}{D} - 0.1 \quad \text{however} \geq 0.0 \quad (2.23)$$



Gambar 2. 4 Ilustrasi Penetrasi (DNV RP F 109, 2010)

2.2.5.4 Beban Reduksi Akibat *Trenching*

Besar reduksi akibat trenching dipengaruhi oleh berbagai parameter. Factor reduksi beban akibat *trenching* pada arah horizontal dan vertical dapat dilihat pada **Persamaan 2.24** dan **2.25**.

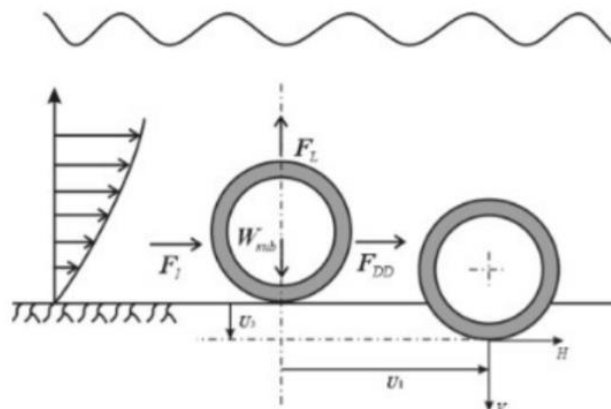
$$r_{tr,y} = 1.0 - 0.18 (\theta - 5)^{0.25} \left(\frac{z_t}{D} \right)^{0.42}, \quad 5 \leq \theta \leq 45 \quad (2.24)$$

$$r_{tr,z} = 1.0 - 0.14 (\theta - 5)^{0.43} \left(\frac{z_t}{D} \right)^{0.46}, \quad 5 \leq \theta \leq 45 \quad (2.25)$$

2.2.6 Stabilitas Pipa Bawah Laut

Salah satu pekerjaan utama dalam mendesain pipa bawah laut adalah menjaga stabilitas pipa ketika dikenai beban hidrodinamis. Stabilitas yang dimaksudkan adalah kecenderungan dari pipa untuk tidak mengalami pergerakan secara lateral maupun vertikal melebihi batasan yang diizinkan meskipun dalam kondisi yang paling ekstrim (White dan Cathie, 2010).

Kestabilan pipa pada saat berada di dasar laut menjadi hal yang sangat penting pada struktur pipa bawah laut. Pipa bawah laut harus didesain dapat menahan beban dan gaya-gaya lingkungan yang bekerja pada pipa sehingga pipa dapat kuat dan stabil pada saat instalasi, *hydrotest* dan selama masa operasional. Pipa yang tidak stabil akan mengganggu proses pendistribusian minyak, gas dan infrastruktur lainnya. Pada **Gambar 2.5** dapat dilihat gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa.



Gambar 2. 5 Gaya yang Bekerja pada Pipa Bawah Laut
(Y. Bai *et al*, 2015)

2.2.6.1 Berat Terendam Pipa

Berat terendam pipa yang dihitung saat pipa beroperasi yakni termasuk berat pipa di udara, berat lapisan anti korosi di udara, berat *concrete coating* di udara, berat muatan yang diangkut pipa yang kemudian akan dilawan oleh gaya apungnya. Sehingga berat terendam pipa dapat dihitung dengan **Persamaan 2.26**.

$$W_s = W_{steel} + W_{corr} + W_{concrete} + W_{content} - Buoyancy \quad (2.26)$$

Dimana :

Ws	: Berat terendam pipa, N/m
Wsteel	: Berat baja di udara, N/m
Wcorr	: Berat <i>corrosion coating</i> di udara, N/m
Wconcrete	: Berat <i>concrete coating</i> di udara, N/m
Wcont	: Berat content di udara, N/m
B	: Gaya apung, N/m

2.2.6.2 Stabilitas Vertikal

Untuk menghindari pengapungan di air, berat pipa yang terendam harus memenuhi kriteria sesuai dengan DNV RP F109 dalam **Persamaan 2.27**.

$$\gamma_w \cdot \frac{b}{w_s + b} = \frac{\gamma_w}{s_g} \leq 1.00 \quad (2.27)$$

Dimana:

γ_w	: <i>safety factor</i>
b	: <i>buoyancy</i> pipa per satuan panjang (N/m)
w_s	: berat terendam pipa per satuan panjang (N/m)
S_g	: <i>Pipe Specific Density</i> (kg/m ³)

2.2.6.3 Absolute Lateral Static Stability

Terjadinya pergerakan lateral disebabkan oleh adanya gaya *drag* dan gaya inersia pada bidang horizontal karena beban gelombang dan arus. Apabila gaya-gaya tersebut cukup besar untuk mengalahkan gesekan *seabed* maka gerakan lateral dimungkinkan akan terjadi. Untuk mengecek stabilitas lateral digunakan **Persamaan 2.28** dan **2.29** sesuai dengan DNV RP F109.

$$\gamma_{SC} \cdot \frac{F_y^* + \mu \cdot F_z^*}{\mu \cdot w_s + F_R} \leq 1.0 \quad (2.28)$$

dan

$$\gamma_{SC} \cdot \frac{F_z^*}{w_s} \leq 1.0 \quad (2.29)$$

Dimana:

γ_{SC}	: <i>Safety Factor</i>
---------------	------------------------

- F_y^* : Beban hidrodinamis arah horizontal (N/m)
 μ : Koefisien gesekan
 F_z^* : Beban hidrodinamis arah vertikal (N/m)
 w_s : Berat terendam pipa per satuan panjang (N/m)
 F_R : Resistensi tanah pasif (N/m)

Faktor keamanan γ_{sc} yang digunakan pada kondisi musim dingin dapat dilihat pada **Tabel 2.2** s.d. **Tabel 2.5**.

Tabel 2. 2 Faktor keamanan kondisi badai musim dingin di North Sea

	Low	Normal	High
Sand and Rock	0.98	1.32	1.67
Clay	1.00	1.40	1.83

Tabel 2. 3 Faktor keamanan kondisi badai musim dingin di Gulf of Mexico dan Southern Ocean

	Low	Normal	High
Sand and Rock	0.95	1.41	1.99
Clay	0.97	1.50	2.16

Sedangkan faktor keamanan γ_{sc} yang digunakan pada kondisi siklon terdaftar pada tabel berikut.

Tabel 2. 4 Faktor keamanan kondisi siklon di North Sea

	Low	Normal	High
Sand and Rock	0.95	1.50	2.16
Clay	0.95	1.56	2.31

Tabel 2. 5 Faktor keamanan kondisi siklon di Gulf of Mexico dan Southern Ocean

	Low	Normal	High
Sand and Rock	0.95	1.64	2.46
Clay	0.93	1.64	2.54

Untuk nilai F_y^* dan F_z^* dapat dihitung dalam **Persamaan 2.30** dan **2.31**.

$$F_y^* = r_{tot,y} \frac{1}{2} \rho_w D C_y^* (U^* + V^*)^2 \quad (2.30)$$

dan

$$F_z^* = r_{tot,z} \frac{1}{2} \rho_w D C_z^* (U^* + V^*)^2 \quad (2.31)$$

Dimana:

F_y^* : Beban hidrodinamis arah horizontal (N/m)

F_z^* : Beban hidrodinamis arah vertikal (N/m)

r_{tot} : Factor reduksi beban

ρ_w : Massa jenis air laut (kg/m^3)

D : Diameter luar pipa (termasuk *coating*)

C_y^* : Koefisien beban puncak horizontal

C_z^* : Koefisien beban puncak vertikal

U^* : amplitudo kecepatan desain tunggal osilasi

V^* : kecepatan arus *steady* dengan desain osilasi

Kemudian untuk koefisien beban puncak horizontal dan vertikal dicari melalui **Tabel 2.6** dan **Tabel 2.7**

Tabel 2. 6 Koefisien Beban Puncak Horizontal
(Sumber: DNV RP F 109, 2010)

C_y^*		K^*										
		2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	100	≥ 140
M^*	0.0	13.0	6.80	4.55	3.33	2.72	2.40	2.15	1.95	1.80	1.52	1.30
	0.1	10.7	5.76	3.72	2.72	2.20	1.90	1.71	1.58	1.49	1.33	1.22
	0.2	9.02	5.00	3.15	2.30	1.85	1.58	1.42	1.33	1.27	1.18	1.14
	0.3	7.64	4.32	2.79	2.01	1.63	1.44	1.33	1.26	1.21	1.14	1.09
	0.4	6.63	3.80	2.51	1.78	1.46	1.32	1.25	1.19	1.16	1.10	1.05
	0.6	5.07	3.30	2.27	1.71	1.43	1.34	1.29	1.24	1.18	1.08	1.00
	0.8	4.01	2.70	2.01	1.57	1.44	1.37	1.31	1.24	1.17	1.05	1.00
	1.0	3.25	2.30	1.75	1.49	1.40	1.34	1.27	1.20	1.13	1.01	1.00
	2.0	1.52	1.50	1.45	1.39	1.34	1.20	1.08	1.03	1.00	1.00	1.00
	5.0	1.11	1.10	1.07	1.06	1.04	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabel 2. 7 Koefisien Beban Puncak Vertical
(Sumber: DNV RP F 109, 2010)

C_z^*		K^*										
		≤ 2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	100	≥ 140
M^*	0.0	5.00	5.00	4.85	3.21	2.55	2.26	2.01	1.81	1.63	1.26	1.05
	0.1	3.87	4.08	4.23	2.87	2.15	1.77	1.55	1.41	1.31	1.11	0.97
	0.2	3.16	3.45	3.74	2.60	1.86	1.45	1.26	1.16	1.09	1.00	0.90
	0.3	3.01	3.25	3.53	2.14	1.52	1.26	1.10	1.01	0.99	0.95	0.90
	0.4	2.87	3.08	3.35	1.82	1.29	1.11	0.98	0.90	0.90	0.90	0.90
	0.6	2.21	2.36	2.59	1.59	1.20	1.03	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90
	0.8	1.53	1.61	1.80	1.18	1.05	0.97	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90
	1.0	1.05	1.13	1.28	1.12	0.99	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	2.0	0.96	1.03	1.05	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	5.0	0.91	0.92	0.93	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	10	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90

Kemudian nilai K^* dan M^* dapat dicari melalui **Persamaan 2.32** dan **2.33**.

$$K^* = \frac{U^* T^*}{D} \quad (2.32)$$

dan

$$M^* = \frac{V^*}{U^*} \quad (2.33)$$

Dimana:

K^* : *Keulegan Carpenter number*

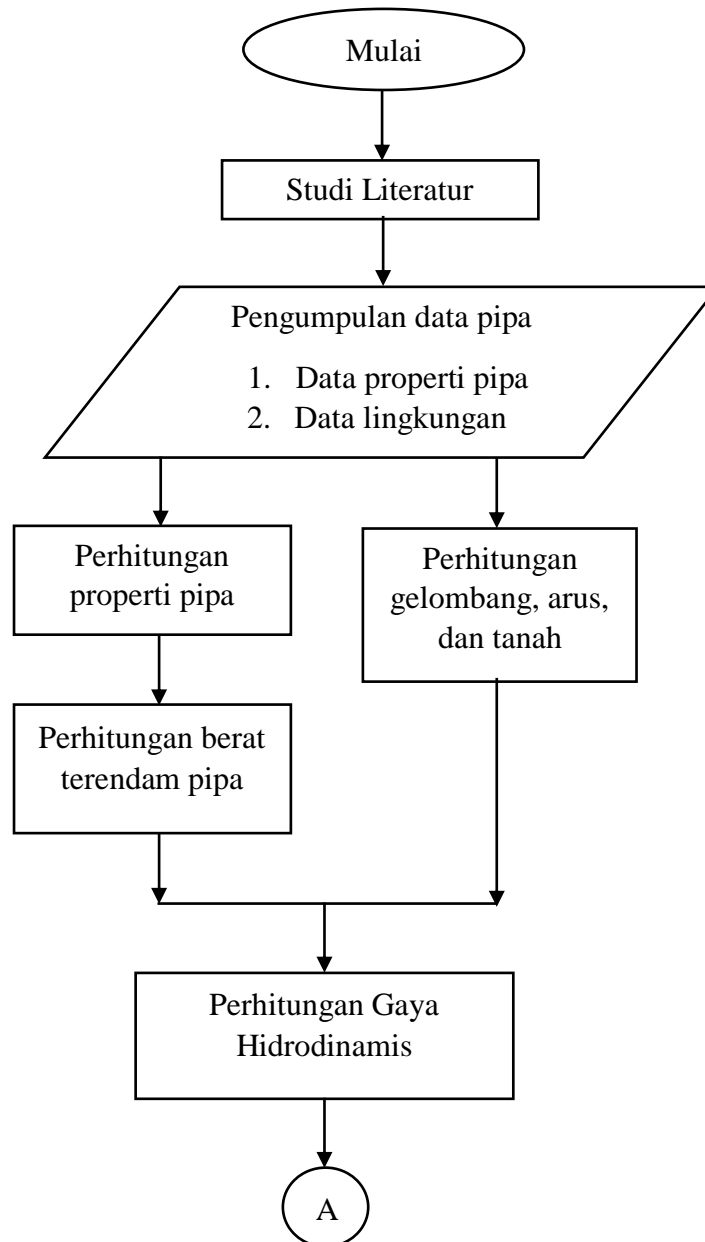
M^* : Ratio arus kecepatan gelombang

(halaman ini sengaja dikosongkan)

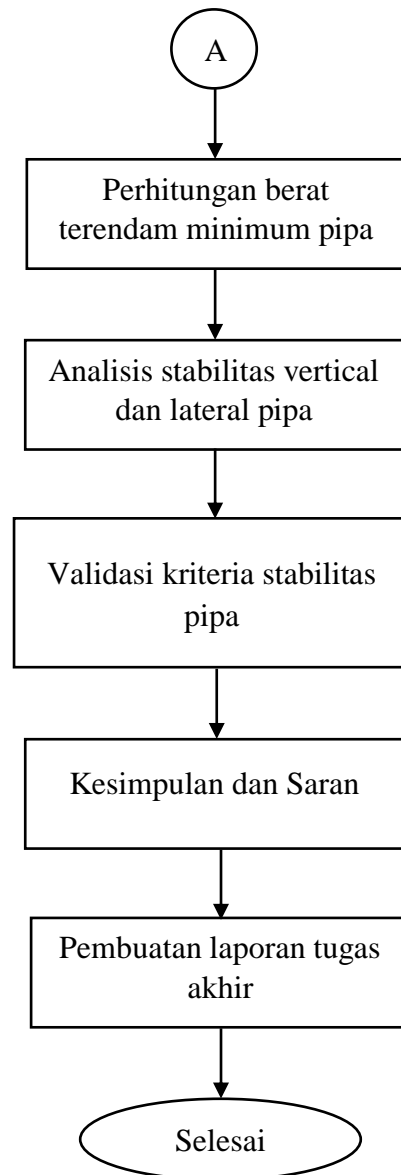
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Adapun diagram alir pengerjaan tugas akhir dapat dilihat dalam **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan)

3.2 Penjelasan Diagram Alir

Berikut penjabaran dari prosedur pengerjaan tugas akhir yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk meingkatkan pemahaman mengenai topik yang akan dibahas. Studi literatur ini dilakukan dengan cara mengumpulkan, membaca, dan mempelajari sumber informasi teori berupa buku, jurnal, prosiding serta *standard* yang berhubungan dengan analisis stabilitas pipa bawah laut.

2. Pengumpulan Data

Adapun data-data yang digunakan dalam tugas akhir ini meliputi:

- a. Data properti pipa terdiri dari nilai diameter dalam, diameter luar, *wall thickness* pipa, tebal *corrosion coating*, dan tebal *concrete coating*, serta diameter keseluruhan pipa dengan *coating*.
- b. Data lingkungan, meliputi data arus, gelombang dan tanah pada daerah struktur pipa bawah air digelar.

3. Perhitungan Properti Pipa

Perhitungan properti pipa meliputi perhitungan diameter luar pipa, berat pipa di udara dan besar gaya apung pipa.

4. Perhitungan Berat Terendam Pipa

Selanjutnya hasil perhitungan properti pipa digunakan untuk menghitung berat terendam pipa.

5. Perhitungan Gelombang, Arus, Dan Tanah

Kemudian dari data lingkungan yang ada dilakukan perhitungan gelombang, partikel kecepatan arus, dan dilanjut perhitungan tahanan tanah terhadap pipa.

6. Perhitungan Gaya Hidrodinamis

Perhitungan gaya hidrodinamis ini meliputi gaya *drag*, gaya inersia, dan gaya angkat yang bekerja pada pipa.

7. Perhitungan Berat Terendam Minimum Pipa

Dilakukan perhitungan berat terendam minimum pipa untuk memenuhi kriteria berat minimum pipa yang dibutuhkan agar pipa dapat stabil di dasar laut.

8. Analisis Kestabilan Lateral dan Vertikal

Menganalisis stabilitas lateral dan vertikal pipa sesuai code yang sesuai yaitu mengacu pada DNV RP F 109.

9. Kesimpulan

Setelah analisis dilakukan maka didapatkan hasil dan dapat ditarik kesimpulan yang harapannya dapat bermanfaat.

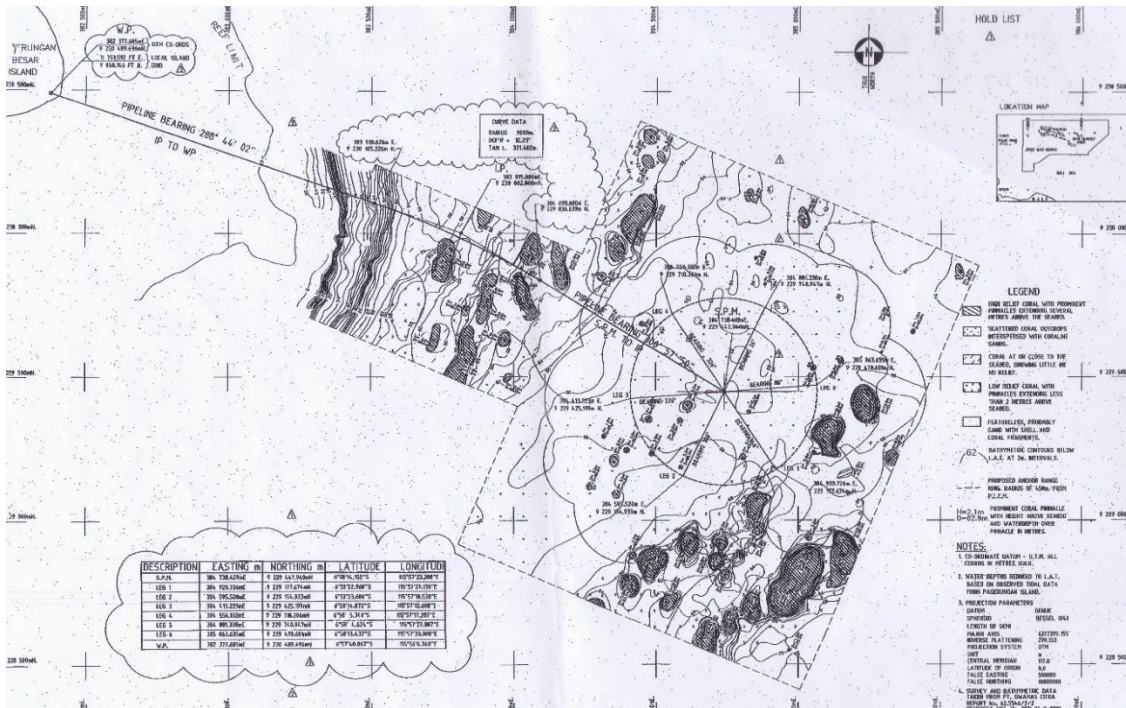
10. Pembuatan Laporan Tugas Akhir

Menyusun laporan keseluruhan analisis yang dilakukan secara sistematis serta sesuai dengan proses pengerjaan tugas akhir.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada laporan studi kasus Tugas Akhir ini merupakan perencanaan instalasi pergantian pipa bawah laut yang mengalirkan *condensate* dari *condensate tank* di kilang minyak menuju SPM PLEM. Jaringan pipa ini terletak di area Pagerungan Besar sepanjang 2,6 km yang terdiri dari *onshore pipeline* dan *offshore pipeline*. Dimana *onshore pipeline* dimulai dari KP 0 – 900 dan *offshore pipeline* dari KP 900 – 2600. Berikut merupakan peta lokasi studi kasus yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1**



Gambar 4. 1 Peta Lokasi Jalur Pipeline

Oleh karena itu, *segment* yang ditinjau dalam studi kasus stabilitas pipa bawah laut ini hanya pada *offshore pipeline* dengan jarak 1,7 km. Kemudian *segment* yang ditinjau terletak pada KP 900, 1000, 1100, 1200, 1300, dan 2600. Dalam tugas ini dilakukan analisis *on bottom stability pipeline* pada kondisi operasi. Dimana kondisi operasi adalah kondisi pipa sudah berisi dan dialiri fluida yaitu *condensate*.

4.2 Pengumpulan Data

Dalam perencanaan jaringan perpipaan dibutuhkan data-data awal meliputi data propertis pipa, data arus, data gelombang, data tanah, dan lain-lain yang digunakan untuk analisis. Pada **Tabel 4.1** hingga **Tabel 4.6**

Tabel 4. 1 Data Propertis Pipa

Parameter	Symbol	Value	Unit
<i>Steel Grade</i>	pipe 5L X60	sch 60	
<i>Wall Thickness Pipe</i>	Ttst	0.0127	m
<i>Inside Diameter</i>	Di	0.24765	m
<i>Outside Diameter</i>	Do	0.27305	m
<i>Coating Thickness</i>	Tcoating	0.004	m
<i>Concrete Thickness</i>	Tconcrete	0.0548	m
<i>Corrosion Allowance</i>	Tcorr	0.003	m
<i>Water Density</i>	ρ_{water}	1025	kg/m ³
<i>Coating Density</i>	Pcoating	1281.5	kg/m ³
<i>Concrete Density</i>	Pconcrete	3044	kg/m ³
<i>Steel Density</i>	Psteel	7850	kg/m ³
<i>Condensate Density</i>	Pcondensate	757.5	kg/m ³

Tabel 4. 2 Water Level

Parameter	unit	1 year	100 years
<i>Highest Water Level (above MSL)</i>	m	0.95	
<i>Lowest Water Level (below MSL)</i>	m	0.98	
<i>Storm Surge (above MSL)</i>	m	0.02	0.09

Tabel 4. 3 Data Arus

Parameter		unit	1 year	100 years
<i>Current Velocity</i>	<i>0% of depth</i>	m/s	0.55	0.94
	<i>10% of depth</i>	m/s	0.53	0.81
	<i>20% of depth</i>	m/s	0.52	0.79
	<i>30% of depth</i>	m/s	0.5	0.76
	<i>40% of depth</i>	m/s	0.48	0.72
	<i>50% of depth</i>	m/s	0.46	0.69
	<i>60% of depth</i>	m/s	0.44	0.65
	<i>70% of depth</i>	m/s	0.41	0.61
	<i>80% of depth</i>	m/s	0.38	0.56
	<i>90% of depth</i>	m/s	0.35	0.51
	<i>100% of depth</i>	m/s	0.32	0.46

Tabel 4. 4 Data Gelombang

Parameter	Symbol	unit	1 year	100 years
<i>Significant Wave Height</i>	H_s	m	3.4	6.2
<i>Significant Wave Period</i>	T_s	s	6.9	8.9
<i>Significant Wave Length</i>	L_s	m	73.8	124.8
<i>Max. Individual Wave Height</i>	H_{max}	m	6.1	11.2
<i>Max. Individual Wave Period</i>	T_{max}	s	8.9	11.6
<i>Max. Individual Wave Length</i>	L_{max}	m	124.8	211

Tabel 4. 5 Soil Parameter

Parameter	Symbol	Unit	Value
<i>Soil Type</i>			<i>Very Soft Clay</i>
<i>Seabed Grain Size</i>	d_{50}	mm	0.0625
<i>Bottom Roughness</i>	z_o	m	5×10^{-6}
<i>Reduction Factor, Non Permeable Seabed</i>	r		1
<i>Undrained Shear Strength</i>	S_u	Pa	4000
<i>Submerged Unit Weight Of Soil</i>	γ'	N	60.662

Sesuai dalam DNV RP F109 kombinasi pembebanan lingkungan pada kondisi operasi menggunakan periode ulang 100 tahun gelombang dikombinasikan dengan periode ulang 10 tahun arus. Data analisis kondisi operasi dapat dilihat pada **Tabel 4.6**

Tabel 4. 6 Data Analisis Kondisi Operasi

No	KP (m)	Kedalaman (m)	Hs 100 thn (m)	Tp 100 thn (s)	Ts 100 thn (s)	Arus 10 thn (m/s)
1	900	0,54	0,1	8,2	8,1	1,0
2	1000	4	0,1	8,2	8,1	1,1
3	1100	28	1,2	8,2	8,1	0,4
4	1200	44	2,6	8,6	8,5	0,2
5	1300	62	4,1	9,1	8,7	0,2
6	2600	64	4,1	9,1	8,7	0,2

4.3 Perhitungan Properti Pipa

Hasil perhitungan properti pipa yang dilakukan meliputi perhitungan diameter luar pipa dengan *concrete coating* dan *corrosion coating* serta berat pipa saat diudara dapat dilihat dalam **Tabel 4.7**.

Tabel 4. 7 Properti Pipa

Parameter	Symbol	Unit	Value
Diameter Pipa W/ <i>Coating</i>	D	m	0.3827
Berat Pipa	W_{st}	N/m	799.9
Berat <i>Corrosion Coating</i>	W_{corr}	N/m	174.4
Berat <i>Concrete</i>	W_c	N/m	1581.5
Berat Konten (<i>Condensate</i>)	W_{cont}	N/m	29.8
<i>Buoyancy</i> Pipa	B	N/m	1156.3

4.4 Perhitungan Berat Terendam Pipa

Berat terendam pipa dapat dicari dengan mengurangi beban pipa terhadap besarnya gaya apung. Perhitungan yang dilakukan meliputi perhitungan berat terendam pipa, dan berat terendam pemberat seperti pada **Persamaan (2.26)**. Berikut dalam **Tabel 4.8** merupakan hasil perhitungan berat terendam pipa pada saat kondisi operasi.

Tabel 4. 8 Berat Terendam Pipa

Parameter	Symbol	Unit	Value
Berat Terendam Pipa	W_s	N/m	1429.3

4.5 Analisis Stabilitas Vertikal

Analisis stabilitas vertikal berkaitan dengan berat pipa yang terendam di air. Analisis ini bertujuan untuk menghindari gaya hidrodinamis keatas atau pengapungan saat pipa terendam di air. Dengan begitu dapat diketahui apakah berat pipa di udara mampu melawan gaya apung ketika pipa terendam di dalam air agar memenuhi kriteria sesuai dengan DNV RP F109 dalam **Persamaan (2.27)**.

Kemudian dilakukan pengecekan *vertical stability* tanpa pengaruh arus dan gelombang didapatkan nilai seperti pada **Tabel 4.9**

Tabel 4. 9 Vertical Stability Check

Ws (N/m)	B (N/m)	Vs Check ≤ 1
1429.3	1156.3	0.492

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai stabilitas vertical pipa **0.492** ≤

1. Maka pipa dinyatakan aman karena memenuhi kriteria stabilitas vertikal.

4.6 Analisis Gaya Hidrodinamis

Dalam analisis stabilitas pipa bawah laut perlu dilakukan analisis gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa ketika pipa di gelar di *seabed*. Gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa meliputi gaya horizontal dan vertical. Pipa bawah laut cenderung terkena gaya hidrodinamis dari gelombang dan arus. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis partikel air akibat arus dan gelombang untuk mengetahui besar gaya hidrodinamis.

Analisis kecepatan partikel akibat gelombang terhadap pipa ditentukan menggunakan spektra JONSWAP dalam **Persamaan (2.2)**. Kemudian nilai dari spektra gelombang digunakan untuk mencari fungsi transformasi kecepatan gelombang menjadi kecepatan partikel air dengan **Persamaan (2.6)**. Setelah itu didapatkan parameter yang digunakan untuk menghitung momen spektra **Persamaan (2.9)** sehingga didapatkan parameter hidrodinamis seperti pada **Tabel 4.10**

Tabel 4. 10 Parameter Hidrodinamis

Parameter	KP					
	900	1000	1100	1200	1300	2600
M0	0,005	0,003	0,008	0,013	0,007	0,007
M2	0,009	0,005	0,009	0,023	0,011	0,011
Us	0,141	0,103	0,177	0,230	0,173	0,170
Tu	4,561	6,185	6,185	6,185	6,414	6,414
T*	5,409	4,904	6,014	4,728	5,067	5,108
U*	0,289	0,210	0,355	0,468	0,485	0,480
V*	0,578	0,674	0,232	0,125	0,106	0,106

Untuk menghitung gaya hidrodinamis baik horizontal maupun vertikal perlu diketahui nilai koefisien *peak horizontal load* (Cy^*) dan *peak vertical load* (Cz^*)

yang didapat dari interpolasi nilai *Keulegan Carpenter Number* (K^*) dan *Velocity Ratio* (M^*) pada **Tabel 2.6** dan **Tabel 2.7**. Hasil perhitungan koefisien dapat dilihat dalam **Tabel 4.11**.

Tabel 4. 11 Koefisien K^* , M^* , Cy^* , dan Cz^*

Parameter	KP					
	900	1000	1100	1200	1300	2600
K^*	4,105	2,692	5,579	5,788	6,429	6,410
M^*	1,990	3,207	0,655	0,266	0,219	0,222
Cy^*	1,519	1,354	3,027	4,294	4,359	4,351
Cz^*	1,006	0,943	2,180	3,363	3,494	3,488

Setelah didapatkan nilai Cy^* dan Cz^* maka didapatkan gaya horizontal (Fy) dan gaya vertikal (Fz) seperti pada **Tabel 4.12**.

Tabel 4. 12 Gaya Hidrodinamis Horizontal dan Vertikal

KP	Gaya Hidrodinamis (N/m)	
	Horizontal (Fy)	Vertikal (Fz)
900	66,7	143,1
1000	62,2	144,6
1100	61,4	147,5
1200	88,8	231,9
1300	88,5	233,1
2600	88,1	235,3

4.7 Stabilitas Lateral

Selain dilakukan pengecekan kestabilan secara vertikal, juga harus dilakukan pengecekan stabilitas secara lateral. Adapun dalam studi kasus ini menggunakan acuan dari DNV RP F109 dengan metode *Absolute Lateral Static Stability* yang dapat dilihat pada **Persamaan (2.28)** dan **Persamaan (2.29)**. Dalam **Tabel 4.13** merupakan hasil *lateral stability check* sesuai kriteria yang ditentukan.

Tabel 4. 13 *Absolute Static Stability Check*

KP	<i>Absolute Static Stability</i>	
900	0,1459	0,1005
1000	0,1415	0,1011
1100	0,1424	0,1032
1200	0,2185	0,1623

KP	<i>Absolute Static Stability</i>	
1300	0,2181	0,1631
2600	0,2178	0,1647

Analisis dilakukan pada kondisi operasi, dengan menggunakan nilai *safety factor* $\gamma_{sc} = 1$, dapat ditarik kesimpulan jaringan pipa bawah laut tersebut aman karena nilai stabilitasnya kurang dari 1. Sehingga kestabilan lateral pipa dapat dikatakan aman karena memenuhi kriteria sesuai dengan DNV RP F109.

4.8 Analisis Berat Terendam Minimum

Selanjutnya dilakukan analisis *Ws requirement* untuk mengetahui berat terendam minimum yang dibutuhkan agar pipa stabil dibawah laut. Dimana, berat pipa yang tenggelam harus lebih besar dibanding gaya-gaya yang bekerja pada pipa. Adapun rumus yang digunakan merupakan penjabaran dari kriteria stabilitas lateral dalam **Persamaan (2.28)** untuk mendapatkan berat terendam minimum yang dibutuhkan. Selain didapatkan nilai *Ws* minimum yang dibutuhkan juga didapatkan nilai *safety factor* yang harus ≥ 1 . Jika tidak, maka perlu diberi penambahan berat *concrete* untuk menambah kestabilan dan keamanan pipa bawah laut saat beroperasi. Analisis berat terendam minimum serta *safety factor* dapat dilihat dalam **Tabel 4.14**

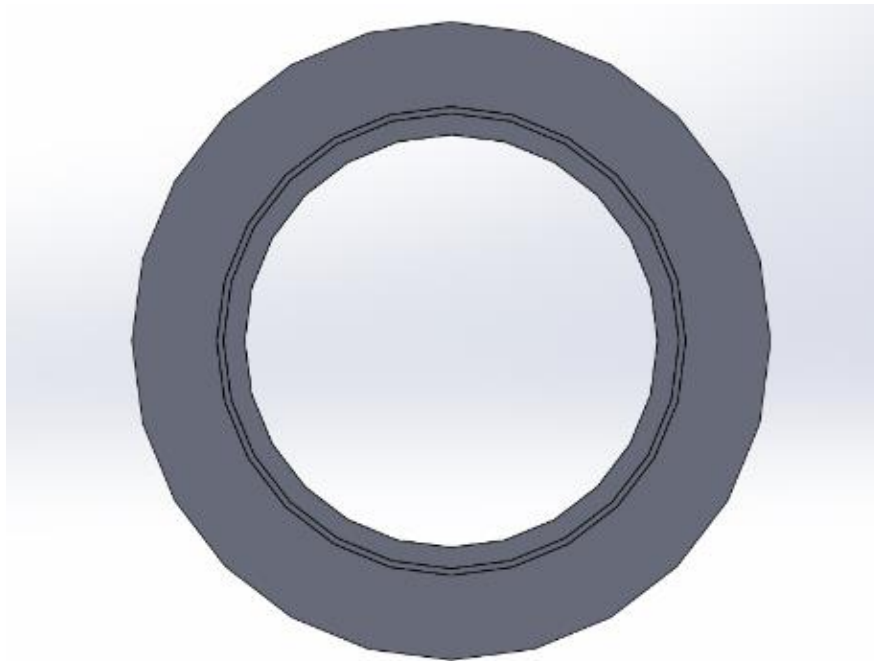
Tabel 4. 14 Analisis Berat Minimum

KP	Ws aktual (N/m)	Ws Requirement (N/m)	Safety Factor	Check
900	1429,3	172,9	8,3	OK
1000	1429,3	149,0	9,6	OK
1100	1429,3	149,9	9,5	OK
1200	1429,3	228,0	6,3	OK
1300	1429,3	228,4	6,3	OK
2600	1429,3	229,3	6,2	OK

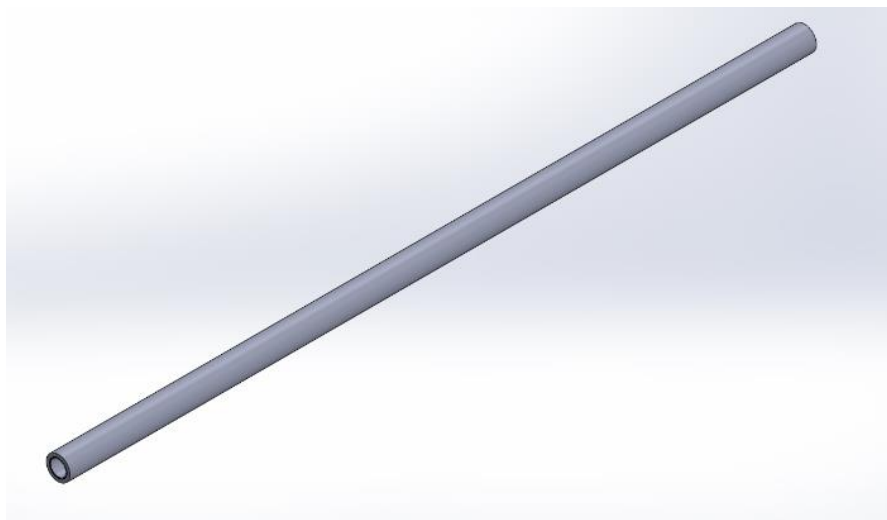
4.9 Permodelan Menggunakan *Software* ANSYS

4.9.1 Simulasi Permodelan

Setelah dilakukan analisis perhitungan dilakukan validasi dengan analisis permodelan untuk dibandingkan dengan hasil perhitungan sesuai *Class* DNV RP F109. *Software* yang digunakan untuk permodelan adalah ANSYS CFX. Pada awalnya pipa dimodelkan pada *software solidworks* sepanjang 12 meter dengan ukuran diameter sesuai dengan ukurannya pada **Tabel 4.1** yang hasilnya seperti pada **Gambar 4.2.** dan **Gambar 4.3.**

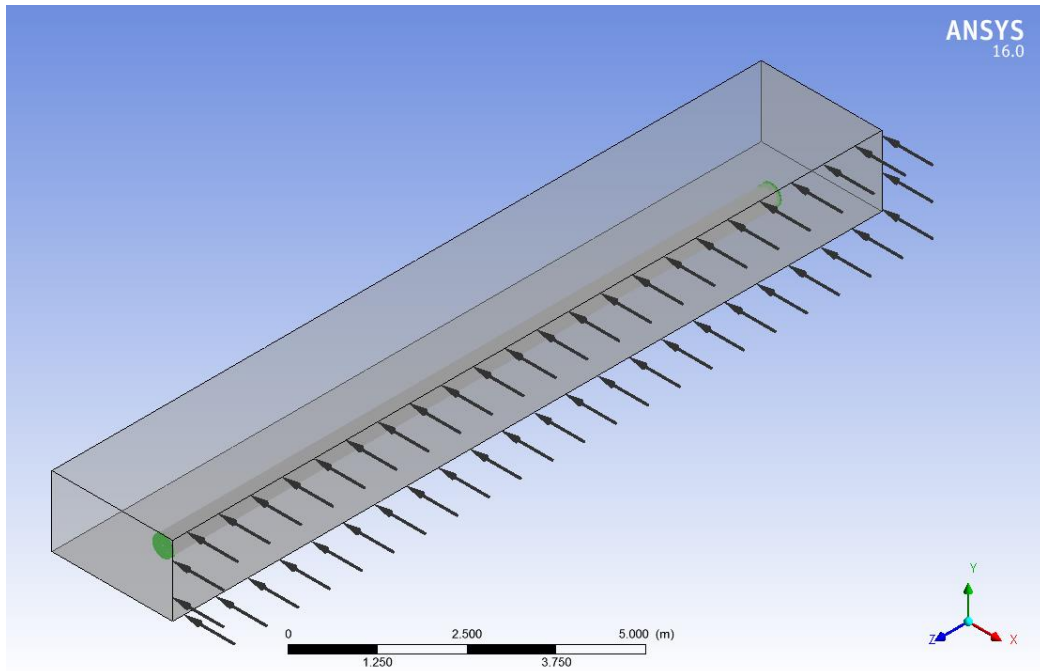


Gambar 4. 2 Model *Sketch* Pipa pada *Solidworks* Tampak Depan

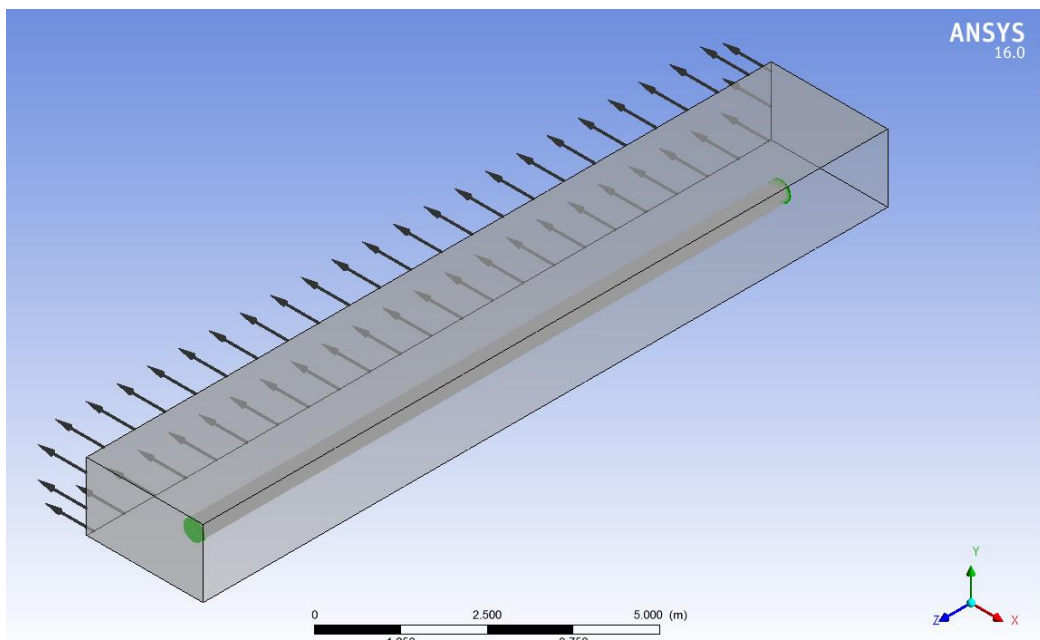


Gambar 4. 3 Model *Sketch* Pipa pada *Solidworks* Tampak Isometri

Kemudian model pipa tersebut diimport pada ANSYS untuk dianalisis dan mendefinisikan material pada tiap lapisannya. Serta dimasukkan nilai arus pada *setup inlet* dan *outlet* sesuai dengan arus yang bekerja pada *pipeline* yang dapat dilihat pada **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5**.

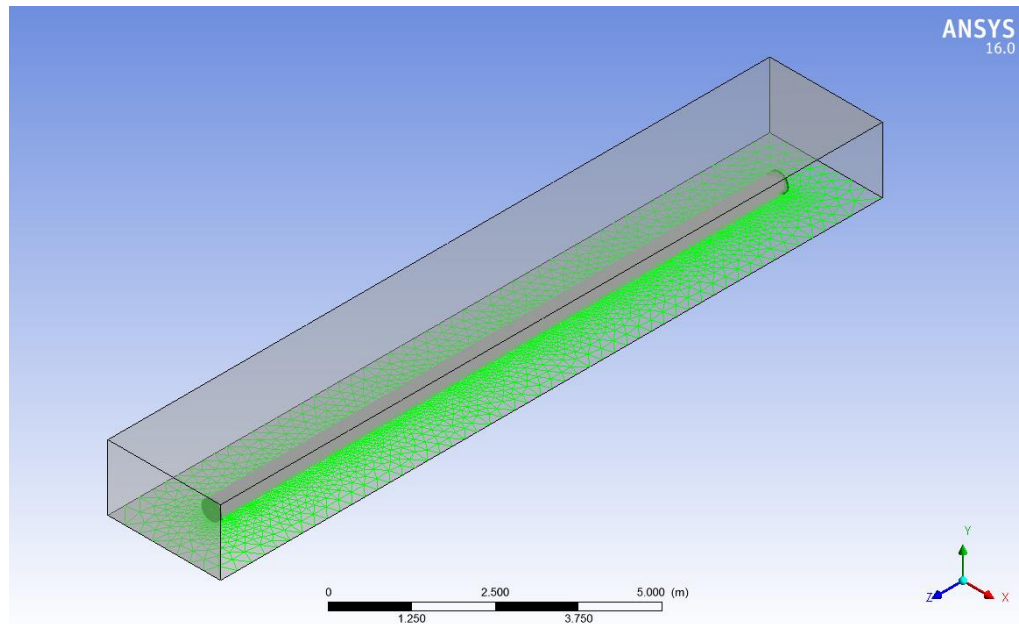


Gambar 4. 4 *Setup Inlet* pada ANSYS

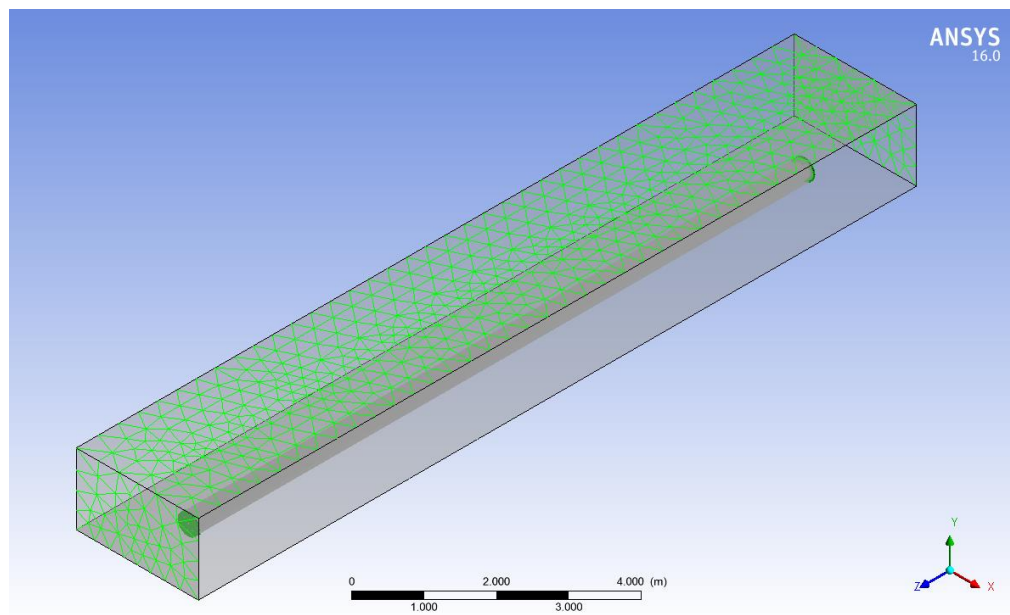


Gambar 4. 5 *Setup Outlet* pada ANSYS

Selanjutnya diberi *boundary* pada bagian bawah merupakan *Soil* dengan kriteria *No Slip Wall* yang memiliki *grain roughness* sebesar 5×10^{-6} m sesuai ketentuan DNV RP F109 untuk *soil type clay* pada **Tabel 2.1** dapat dilihat pada **Gambar 4.6**. Kemudian untuk bagian atas, kiri dan kanan merupakan *Wall* dengan kriteria *Free Slip Wall* seperti pada **Gambar 4.7**.



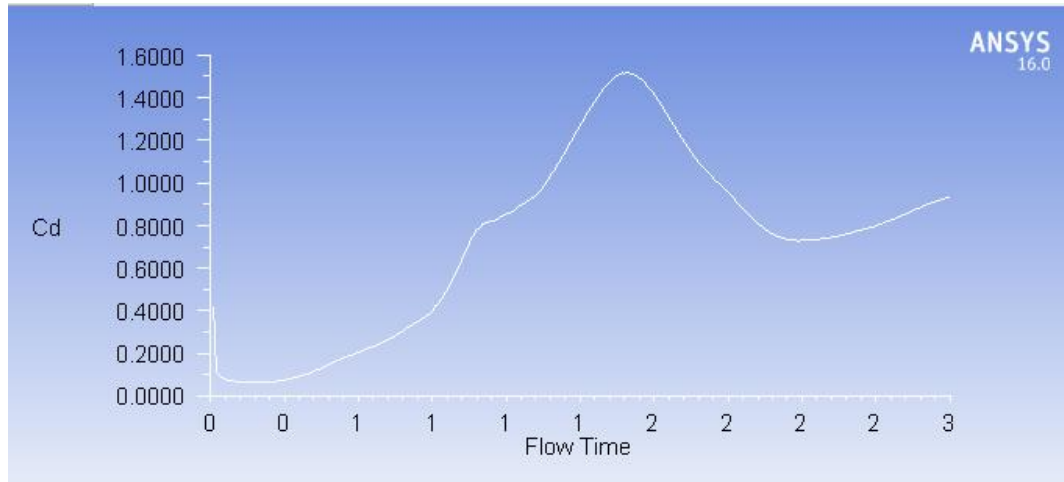
Gambar 4. 6 *Boundary Soil*



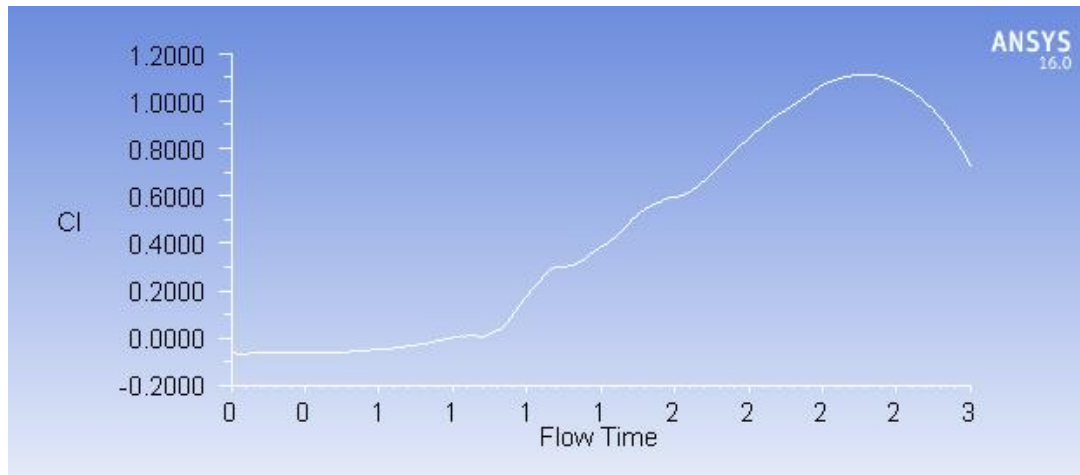
Gambar 4. 7 *Boundary Wall*

4.9.2 Validasi C_y^* dan C_z^*

Dari simulasi yang dilakukan didapatkan output nilai C_d yang mana merupakan C_y^* dan C_l yang mana merupakan C_z^* . Nilai dari C_y^* dan C_z^* dapat dilihat pada **Gambar 4.8** dan **Gambar 4.9**.



Gambar 4. 8 Hasil C_y^* pada *Software* ANSYS



Gambar 4. 9 Hasil C_z^* pada *Software* ANSYS

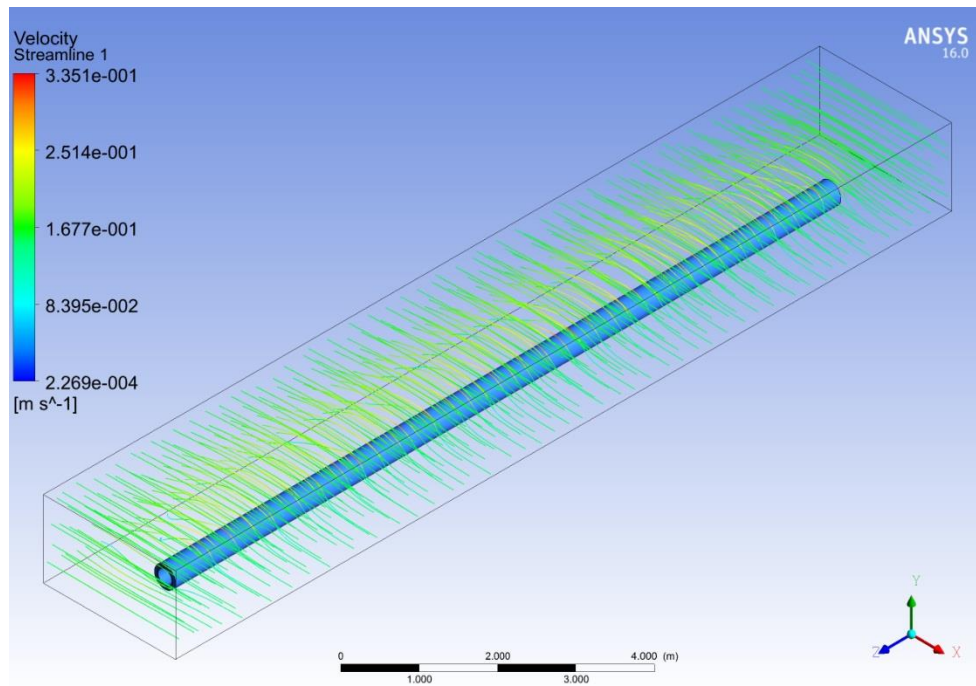
Yang kemudian hasil permodelan pada **Gambar 4.8** dan **Gambar 4.9** tersebut divalidasi dengan hasil perhitungan sesuai *Class* DNV RP F109 pada **Tabel 4.15**.

Tabel 4. 15 C_y^* dan C_z^* Hasil Perhitungan DNV RP F 109 dengan Permodelan

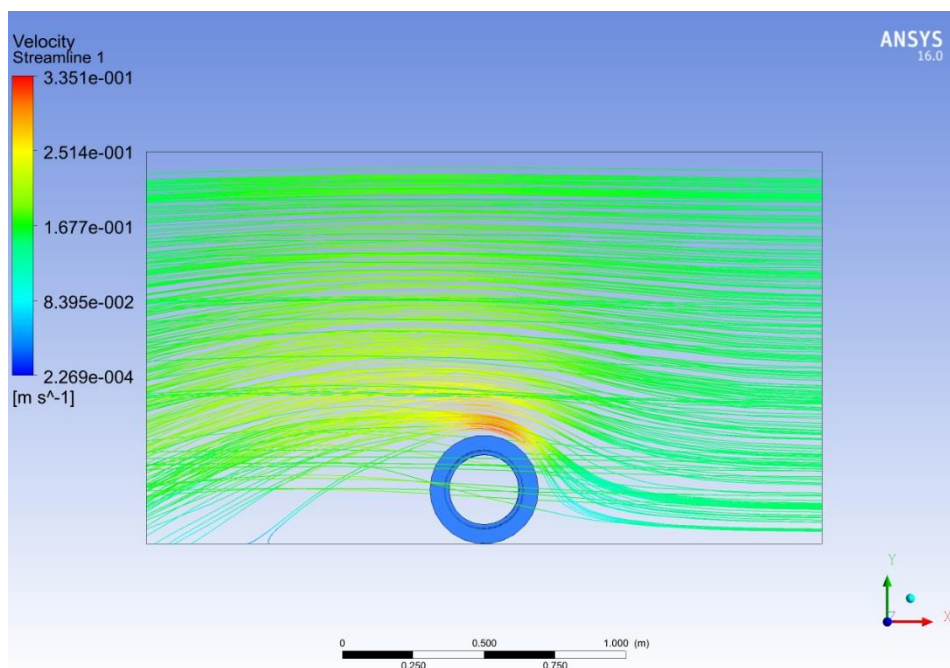
KP	Parameter	DNV RP F 109	Permodelan
900	Koefisien <i>Peak Horizontal Load</i> (C_y^*)	1,519	1,545
	Koefisien <i>Peak Vertical Load</i> (C_y^*)	1,006	1,115

4.9.3 Validasi Gaya Hidrodinamis

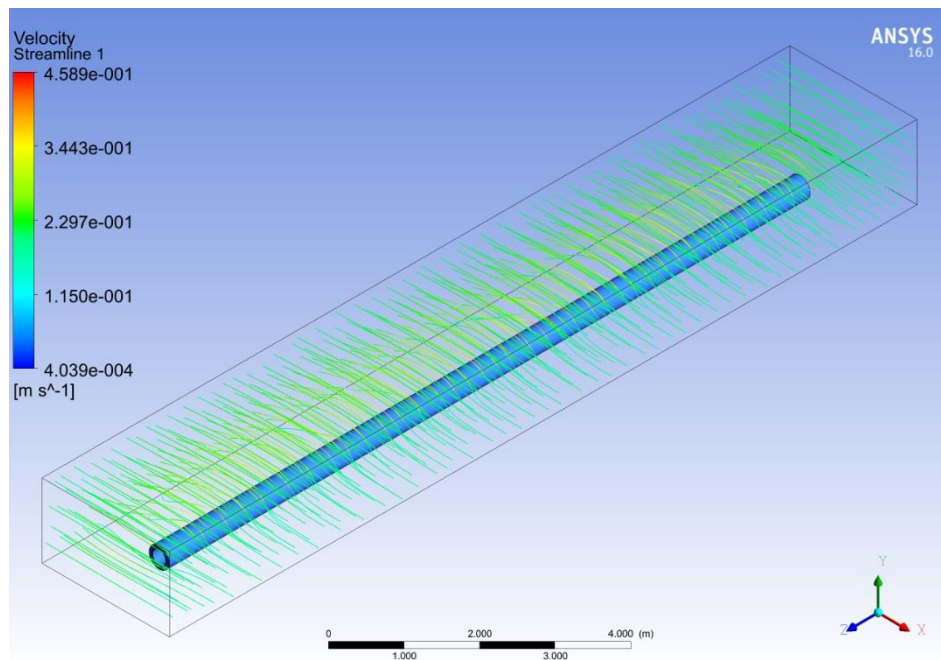
Segment yang dimodelkan terletak pada ujung-ujung yaitu pada KP 900 dan KP 2600. Kemudian setelah disimulasikan didapatkan hasil permodelan dengan ANSYS CFX seperti pada **Gambar 4.10** hingga **Gambar 4.13**



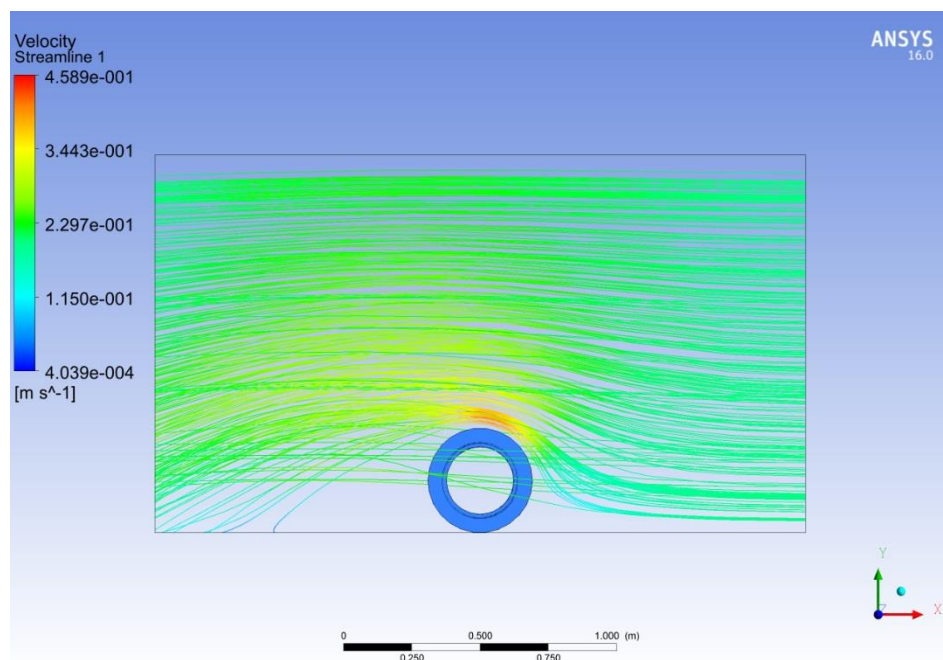
Gambar 4. 10 Hasil Simulasi KP 900 Tampak Isometri



Gambar 4. 11 Hasil Simulasi KP 900 Tampak Depan



Gambar 4. 12 Hasil Simulasi KP 2600 Tampak Isometri



Gambar 4. 13 Hasil Simulasi Tampak Depan KP 2600 Tampak Isometri

Dari hasil simulasi permodelan menggunakan *software* ANSYS CFX yang telah dilakukan didapat nilai gaya horizontal (Fy) dan gaya vertikal (Fz) yang dapat dilihat pada **Tabel 4.16**

Tabel 4. 16 Gaya Hidrodinamis Hasil Permodelan

KP	Parameter	Permodelan	Unit
900	Gaya Horizontal (Fy)	65,93	N/m
	Gaya Vertikal (Fz)	138,75	N/m
2600	Gaya Horizontal (Fy)	85,04	N/m
	Gaya Vertikal (Fz)	229,40	N/m

Yang kemudian hasil permodelan pada **Tabel 4.16** tersebut di validasi dengan hasil perhitungan sesuai *Class* DNV RP F109 pada **Tabel 4.12** sehingga didapatkan nilai error pada **Tabel 4.17**

Tabel 4. 17 Validasi Gaya Hidrodinamis Hasil Perhitungan sesuai DNV RP F 109 dengan Permodelan

KP	Parameter	DNV RP F109	Permodelan	Unit	Error
900	Gaya Horizontal (Fy)	66,7	65,93	N/m	1,17%
	Gaya Vertikal (Fz)	143,1	138,75	N/m	3,01%
2600	Gaya Horizontal (Fy)	88,1	85,04	N/m	3,45%
	Gaya Vertikal (Fz)	235,3	229,40	N/m	2,53%

Dari hasil perbandingan pada **Tabel 4.17** didapatkan nilai error dari perhitungan sesuai *Class* DNV RP F109 dan permodelan *software* ANSYS CFX dikarenakan ada banyak faktor yang memengaruhi. Pertama, perbedaan formula yang digunakan dalam ANSYS dan formula dalam *Class* DNV RP F109. Kedua, adanya faktor *meshing* pada ANSYS CFX yang membuat hasil berbeda. Ketiga, perhitungan sesuai *Class* DNV RP F109 yang dilakukan dalam pendekatan 2D sedangkan ANSYS CFX secara 3D. Selain itu, penginputan pada *software* yang cukup simpel sehingga faktor-faktor tersebutlah yang menyebabkan terdapat ketidaktepatan. Meskipun terdapat perbedaan nilai errornya $\leq 5\%$ yang mana dari hasil tersebut baik perhitungan sesuai *class* maupun simulasi permodelan dapat dikatakan valid.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan perhitungan mengenai analisis stabilitas *trunk line* pada bab sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Besar gaya hidrodinamis yang bekerja di sepanjang pipa bawah laut adalah:
 - a. Gaya hidrodinamis arah horizontal (F_y) terbesar pada KP 1200 dengan nilai sebesar 88,8 N/m dan terkecil pada KP 1100 dengan nilai sebesar 61,4 N/m.
 - b. Arah Vertikal (F_z) terbesar pada KP 2600 dengan nilai sebesar 235,3 N/m dan terkecil pada KP 900 dengan nilai sebesar 143,1 N/m. Yang mana setelah dilakukan permodelan menggunakan ANSYS CFX didapatkan nilai pada KP 2600 dan 229,40 N/m pada KP 900 sebesar 138,75. Sehingga hasil permodelan dikatakan valid karena nilai perbedaan antara hasil perhitungan sesuai *Class* DNV RP F109 dan permodelan menggunakan ANSYS CFX dibawah 5%
2. Berdasarkan kriteria stabilitas menurut DNV RP F109 nilai kriteria stabilitas baik stabilitas lateral maupun stabilitas vertikal nilainya harus kurang dari 1. Sehingga dari hasil analisis perhitungan diperoleh hasil:
 - a. Stabilitas vertikal pada kondisi operasi sebesar 0,492 sehingga memenuhi kriteria DNV RP F-109
 - b. Stabilitas lateral memiliki nilai terbesar 0,2185 dan 0,1647 yang mana memenuhi ketentuan *absolute lateral static stability* pada DNV RP F 109 pada KP
3. Berdasarkan hasil perhitungan berat terendam minimum pipa yang dibutuhkan dengan tebal *concrete* 50 mm didapatkan nilai sebesar 229,3 N/m agar pipa dapat tenggelam dibawah laut dan melawan gaya-gaya yang bekerja pada pipa.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Menganalisis stabilitas pipa bawah laut menggunakan metode Generalized Lateral Stability sesuai dengan DNV RP F109.
2. Diperlukan adanya analisis *Free Span* dan *Fatigue Limit Stress* (FLS) agar didapatkan hasil yang lebih mendalam pada perencanaan *trunk line*.
3. Melakukan analisis minimum bending radius antara pipa bawah laut dan SPM PLEM.
4. Melakukan simulasi permodelan pergerakan lateral pipa bawah laut dengan menggunakan *software* OrcaFlex.

DAFTAR PUSTAKA

- Asfarur. 2017. *Analisis On-Bottom Stability dan Local Buckling Offshore Pipeline: Studi Kasus Platform SP Menuju Platform B1C/B2C*. Tugas Akhir. FTK, Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Bai, Y., Tang, J., Xu W. Ruan W. 2015. *Reliability-based Design of Sub Sea Light Weight Pipeline Against Lateral Stability*. Elsevier Science, USA.
- Chakrabarti, S.K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. CBI Industries, Inc: USA.
- Det norske Veritas. 1988. DNV RP E305, *On-Bottom Stability Design Of Submarine Pipelines*. Det Norske Veritas AS. Norway.
- Det norske Veritas. 2007. DNV OS F101, *Submarine Pipeline Systems*. Det Norske Veritas AS. Norway.
- Det norske Veritas. 2010. DNV RP F109, *On-Bottom Stability Design Of Submarine Pipelines*. Det Norske Veritas AS. Norway.
- Djarmiko, Eko B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya : ITS Press.
- Elanda, R. W., 2011, Analisis Keandalan Pipa Lurus Akibat Korosi Eksternal Pada Jalur Pipa Transmisi Gas Dengan Menggunakan Simulasi Monte Carlo, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Departemen Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia.
- Guo, B., Song, S, Chacko, J., dan Ghalambor, A. 2005. *Offshore Pipelines*. Gulf Professional Publishing, Burlington, USA.
- Hadiwiananta, A. Y. 2017. Analisis Sifat Mekanis Dan Ketahanan Korosi Di Lingkungan Laut Dari Material Baja Karbon ASTM A 131 Grade AH 36 Pada Pengelasan Bawah Air. Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan, ITS.
- Mouselli, A. H. 1981. *Offshore Pipeline Design, Analysis, and Methods*. Pennwell Publishing Company, Tulsa Oklahoma.

- Rochani, I et al. 2017. *Analisis On-Bottom Stability dan Local Buckling: Studi Kasus Pipa Bawah Laut dari Platform Ula Menuju Platform Uw*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Soegiono. 2007. *Pipa Laut*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Tian, Y., Youssef, B., Cassidy, M.J. 2015. *Assessment Of Pipeline Stability In The Gulf Of Mexico During Hurricanes Using Dynamic Analysis*. Theoretical and Applied Mechanics Letters.
- Tsani, A. S. 2017. *Analisa Lateral Buckling Akibat Pipeline Walking Pada Subsea Pipeline*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan, ITS.
- White DJ. Cathie DN. 2010. *Geotechnic for Subsea Pipelines*. Frontiers in offshore geotechnics II. Perth: Taylor & Francis Group.

LAMPIRAN

LAMPIRAN I
Perhitungan Berat Terendam Pipa

1. Diameter Pipa termasuk semua coating

$$D = OD + 2 t_{corr} + 2 t_c$$

$$D = 0,27305 + (2 \times 0,004) + (2 \times 0,0548)$$

$$D = 0,38265 \text{ m}$$

2. Diameter dalam pipa

$$Di = OD - 2 t_{st}$$

$$Di = 0,27305 - (2 \times 0,0127)$$

$$Di = 0,24765 \text{ m}$$

3. Berat Pipa di Udara

$$W_{st} = \frac{\pi}{4} \rho_{st} (OD^2 - ID^2)$$

$$W_{st} = 799,92 \frac{N}{m}$$

4. Berat Corrosion Coating di Udara

$$W_{corr} = \frac{\pi}{4} \rho_{corr} (OD + 2 t_{corr})^2 - ID^2) g$$

$$W_{corr} = 174,35 \frac{N}{m}$$

5. Berat Concrete Coating di Udara

$$W_c = \frac{\pi}{4} \rho_c (OD^2 - (OD + 2 t_{corr})^2) g$$

$$W_c = 1581,50 \frac{N}{m}$$

6. Berat Content Pipa di Udara

$$W_{cont} = \frac{\pi}{4} \rho_{cont} ID^2 g$$

$$W_{cont} = 29,83 \frac{N}{m}$$

7. Buoyancy pipa per satuan panjang

$$b = \frac{\pi}{4} \rho_w D^2 g$$

$$b = 1156,34 \frac{N}{m}$$

8. Berat terendam pipa

$$W_s = W_{steel} + W_{corr} + W_{concrete} + W_{content} - Buoyancy$$

$$W_s = 1429,27 \frac{N}{m}$$

LAMPIRAN II

Perhitungan Spektrum JONSWAP

I. KP 900

A. Menghitung Nilai Konstanta Generalized Philips

$$\alpha = \frac{5}{16} \frac{H_s^2 \omega_p^4}{g^2} (1 - 0,287 \cdot \ln \gamma)$$

$$\alpha = 2,86E - 06$$

B. Menentukan Parameter Lebar Spektra

$$\sigma = \begin{cases} 0,07 & \text{jika } \omega \leq \omega_p \\ 0,09 & \text{jika } \omega > \omega_p \end{cases}$$

C. Menghitung Nilai Peak Enhancement Factor

$$\gamma = \begin{cases} 5,0 & \varphi \leq 3,6 \\ \exp(5,75 - 1,15\varphi) & 3,6 < \varphi < 5,0; \\ 1,0 & \varphi \geq 5,0 \end{cases} \quad \varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$$

$$\varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$$

$$\varphi = 36,4$$

D. Menghitung Nilai Frekuensi Gelombang Puncak

$$\omega_p = \frac{2\pi}{T_p}$$

$$\omega_p = 0,7709$$

E. Menghitung Spektrum JONSWAP

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \cdot \gamma^{\exp\left(-0,5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right)}$$

F. Menghitung Nilai Angka Gelombang

$$\frac{\omega^2}{g} = k \tanh(k d)$$

No	kx asumsi	d	g	ω	kx.d	$\tanh(kx.d)$	k	error
1	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,001%
2	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,001%
3	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,001%
4	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,001%
5	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,001%
6	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,000%
7	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,000%
8	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,000%
9	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,000%
10	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,000%
11	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,000%
12	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,000%
13	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,000%
14	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,000%
15	0,3368	0,54	9,81	0,7709	0,1819	0,1799	0,3368	0,000%

G. Menghitung Nilai Fungsi Transfer

$$G(\omega) = \frac{\omega}{\sinh(k.d)}$$

H. Menghitung Nilai Wave Induced Velocity Spectrum

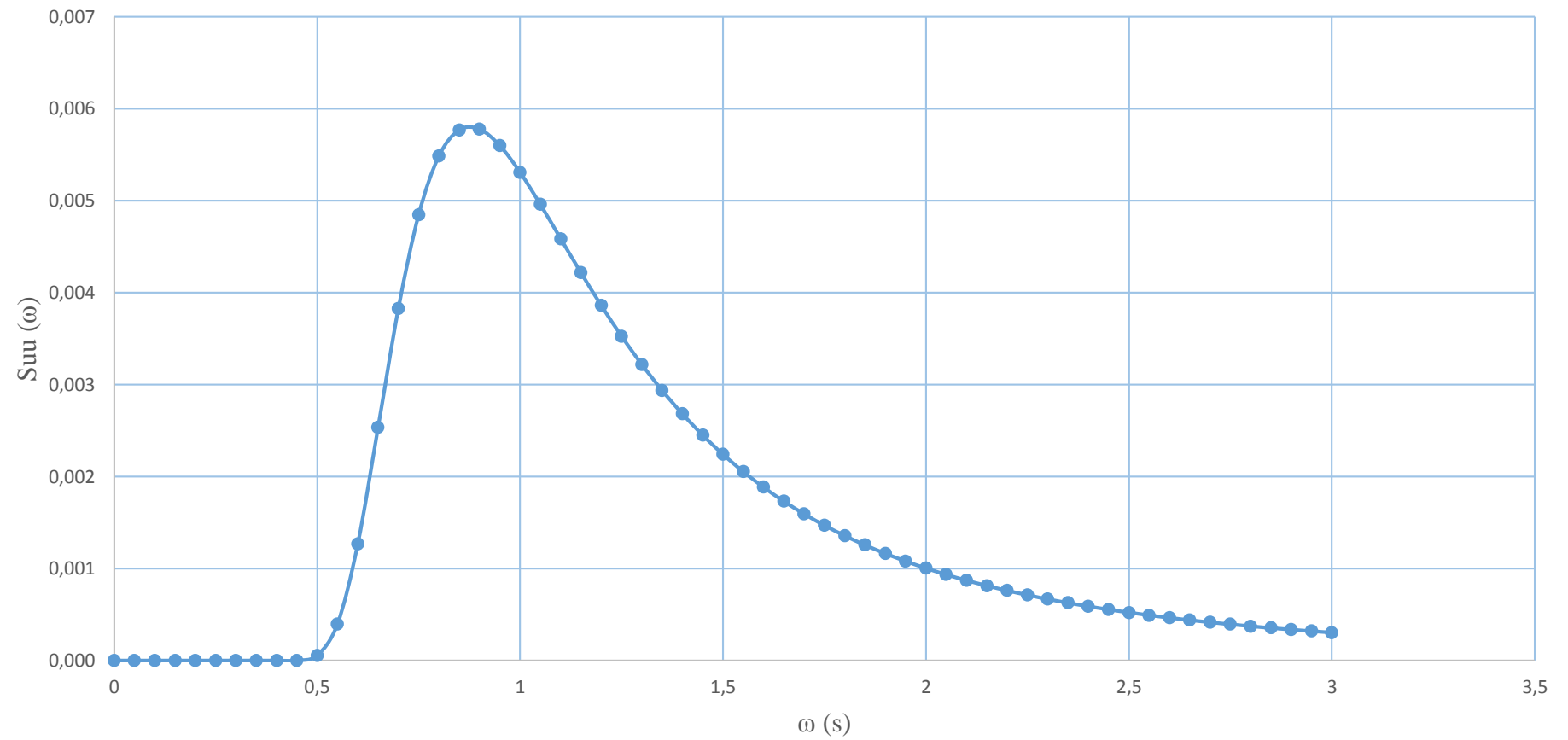
$$S_{uu}(\omega) = G^2(\omega).S_{\eta\eta}(\omega)$$

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
0	0,7709	1	0,07	0,00	0	0,000	0,000	1	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,7709	1	0,07	0,00	0,273413	0,075	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,7709	1	0,07	0,00	0,546826	0,299	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,7709	1	0,07	0,00	0,820238	0,673	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,2	0,7709	1	0,07	0,00	1,093651	1,196	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,25	0,7709	1	0,07	0,00	1,367064	1,869	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,3	0,7709	1	0,07	0,00	1,640477	2,691	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,35	0,7709	1	0,07	0,00	1,91389	3,663	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,4	0,7709	1	0,07	0,00	2,187302	4,784	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,45	0,7709	1	0,07	0,00	2,460715	6,055	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,5	0,7709	1	0,07	0,00	2,734128	7,475	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,55	0,7709	1	0,07	0,00	3,007541	9,045	0,000	4	0,002	0,001	0,000	0,000
0,6	0,7709	1	0,07	0,00	3,280954	10,765	0,001	2	0,003	0,002	0,001	0,000
0,65	0,7709	1	0,07	0,00	3,554367	12,634	0,003	4	0,010	0,007	0,004	0,002
0,7	0,7709	1	0,07	0,00	3,827779	14,652	0,004	2	0,008	0,005	0,004	0,002
0,75	0,7709	1	0,07	0,00	4,101192	16,820	0,005	4	0,019	0,015	0,011	0,006
0,8	0,7709	1	0,07	0,00	4,374605	19,137	0,005	2	0,011	0,009	0,007	0,004
0,85	0,7709	1	0,07	0,00	4,648018	21,604	0,006	4	0,023	0,020	0,017	0,012
0,9	0,7709	1	0,07	0,00	4,921431	24,220	0,006	2	0,012	0,010	0,009	0,008
0,95	0,7709	1	0,07	0,00	5,194843	26,986	0,006	4	0,022	0,021	0,020	0,018
1	0,7709	1	0,07	0,00	5,468256	29,902	0,005	2	0,011	0,011	0,011	0,011
1,05	0,7709	1	0,07	0,00	5,741669	32,967	0,005	4	0,020	0,021	0,022	0,024
1,1	0,7709	1	0,07	0,00	6,015082	36,181	0,005	2	0,009	0,010	0,011	0,013

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
1,15	0,7709	1	0,07	0,00	6,288495	39,545	0,004	4	0,017	0,019	0,022	0,029
1,2	0,7709	1	0,07	0,00	6,561907	43,059	0,004	2	0,008	0,009	0,011	0,016
1,25	0,7709	1	0,07	0,00	6,83532	46,722	0,004	4	0,014	0,018	0,022	0,034
1,3	0,7709	1	0,07	0,00	7,108733	50,534	0,003	2	0,006	0,008	0,011	0,018
1,35	0,7709	1	0,07	0,00	7,382146	54,496	0,003	4	0,012	0,016	0,021	0,039
1,4	0,7709	1	0,07	0,00	7,655559	58,608	0,003	2	0,005	0,008	0,011	0,021
1,45	0,7709	1	0,07	0,00	7,928971	62,869	0,002	4	0,010	0,014	0,021	0,043
1,5	0,7709	1	0,07	0,00	8,202384	67,279	0,002	2	0,004	0,007	0,010	0,023
1,55	0,7709	1	0,07	0,00	8,475797	71,839	0,002	4	0,008	0,013	0,020	0,047
1,6	0,7709	1	0,07	0,00	8,74921	76,549	0,002	2	0,004	0,006	0,010	0,025
1,65	0,7709	1	0,07	0,00	9,022623	81,408	0,002	4	0,007	0,011	0,019	0,051
1,7	0,7709	1	0,07	0,00	9,296035	86,416	0,002	2	0,003	0,005	0,009	0,027
1,75	0,7709	1	0,07	0,00	9,569448	91,574	0,001	4	0,006	0,010	0,018	0,055
1,8	0,7709	1	0,07	0,00	9,842861	96,882	0,001	2	0,003	0,005	0,009	0,028
1,85	0,7709	1	0,07	0,00	10,11627	102,339	0,001	4	0,005	0,009	0,017	0,059
1,9	0,7709	1	0,07	0,00	10,38969	107,946	0,001	2	0,002	0,004	0,008	0,030
1,95	0,7709	1	0,07	0,00	10,6631	113,702	0,001	4	0,004	0,008	0,016	0,062
2	0,7709	1	0,07	0,00	10,93651	119,607	0,001	2	0,002	0,004	0,008	0,032
2,05	0,7709	1	0,07	0,00	11,20993	125,662	0,001	4	0,004	0,008	0,016	0,066
2,1	0,7709	1	0,07	0,00	11,48334	131,867	0,001	2	0,002	0,004	0,008	0,034
2,15	0,7709	1	0,07	0,00	11,75675	138,221	0,001	4	0,003	0,007	0,015	0,070
2,2	0,7709	1	0,07	0,00	12,03016	144,725	0,001	2	0,002	0,003	0,007	0,036
2,25	0,7709	1	0,07	0,00	12,30358	151,378	0,001	4	0,003	0,006	0,014	0,073

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
2,3	0,7709	1	0,07	0,00	12,57699	158,181	0,001	2	0,001	0,003	0,007	0,037
2,35	0,7709	1	0,07	0,00	12,8504	165,133	0,001	4	0,003	0,006	0,014	0,076
2,4	0,7709	1	0,07	0,00	13,12381	172,235	0,001	2	0,001	0,003	0,007	0,039
2,45	0,7709	1	0,07	0,00	13,39723	179,486	0,001	4	0,002	0,005	0,013	0,080
2,5	0,7709	1	0,07	0,00	13,67064	186,886	0,001	2	0,001	0,003	0,007	0,041
2,55	0,7709	1	0,07	0,00	13,94405	194,437	0,000	4	0,002	0,005	0,013	0,083
2,6	0,7709	1	0,07	0,00	14,21747	202,136	0,000	2	0,001	0,002	0,006	0,042
2,65	0,7709	1	0,07	0,00	14,49088	209,986	0,000	4	0,002	0,005	0,012	0,087
2,7	0,7709	1	0,07	0,00	14,76429	217,984	0,000	2	0,001	0,002	0,006	0,044
2,75	0,7709	1	0,07	0,00	15,0377	226,133	0,000	4	0,002	0,004	0,012	0,090
2,8	0,7709	1	0,07	0,00	15,31112	234,430	0,000	2	0,001	0,002	0,006	0,046
2,85	0,7709	1	0,07	0,00	15,58453	242,878	0,000	4	0,001	0,004	0,012	0,093
2,9	0,7709	1	0,07	0,00	15,85794	251,474	0,000	2	0,001	0,002	0,006	0,048
2,95	0,7709	1	0,07	0,00	16,13136	260,221	0,000	4	0,001	0,004	0,011	0,097
3	0,7709	1	0,07	0,00	16,40477	269,116	0,000	1	0,000	0,001	0,003	0,025
								Jumlah	0,303	0,386	0,574	1,949

Spektrum Transformasi Gelombang KP 900



II. KP 1000

A. Menghitung Nilai Konstanta Generalized Philips

$$\alpha = \frac{5}{16} \frac{H_s^2 \omega_p^4}{g^2} (1 - 0,287 \cdot \ln \gamma)$$

$$\alpha = 1,29 E - 05$$

B. Menentukan Parameter Lebar Spektra

$$\sigma = \begin{cases} 0,07 & \text{jika } \omega \leq \omega_p \\ 0,09 & \text{jika } \omega > \omega_p \end{cases}$$

C. Menghitung Nilai Peak Enhancement Factor

$$\gamma = \begin{cases} 5,0 & \varphi \leq 3,6 \\ \exp(5,75 - 1,15\varphi) & 3,6 < \varphi < 5,0; \\ 1,0 & \varphi \geq 5,0 \end{cases} \quad \varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$$

$$\varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$$

D. Menghitung Nilai Frekuensi Gelombang Puncak

$$\omega_p = \frac{2\pi}{T_p}$$

$$\omega_p = 0,7709$$

E. Menghitung Spektrum JONSWAP

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \cdot \gamma^{\exp\left(-0.5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right)}$$

F. Menghitung Nilai Angka Gelombang

$$\frac{\omega^2}{g} = k \tanh(k d)$$

No	kx asumsi	d	g	ω	kx.d	$\tanh(kx.d)$	k	error
1	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51306	0,472329	0,1283	0,004%
2	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51309	0,472347	0,1283	0,004%
3	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51307	0,472332	0,1283	0,003%
4	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51308	0,472344	0,1283	0,003%
5	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51307	0,472334	0,1283	0,002%
6	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51308	0,472343	0,1283	0,002%
7	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51307	0,472335	0,1283	0,002%
8	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51308	0,472342	0,1283	0,001%
9	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51307	0,472336	0,1283	0,001%
10	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51308	0,472341	0,1283	0,001%
11	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51307	0,472337	0,1283	0,001%
12	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51308	0,472340	0,1283	0,001%
13	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51307	0,472337	0,1283	0,001%
14	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51308	0,472340	0,1283	0,000%
15	0,12827	4	9,81	0,7709	0,51308	0,472338	0,1283	0,000%

G. Menghitung Nilai Fungsi Transfer

$$G(\omega) = \frac{\omega}{\sinh(k.d)}$$

H. Menghitung Nilai Wave Induced Velocity Spectrum

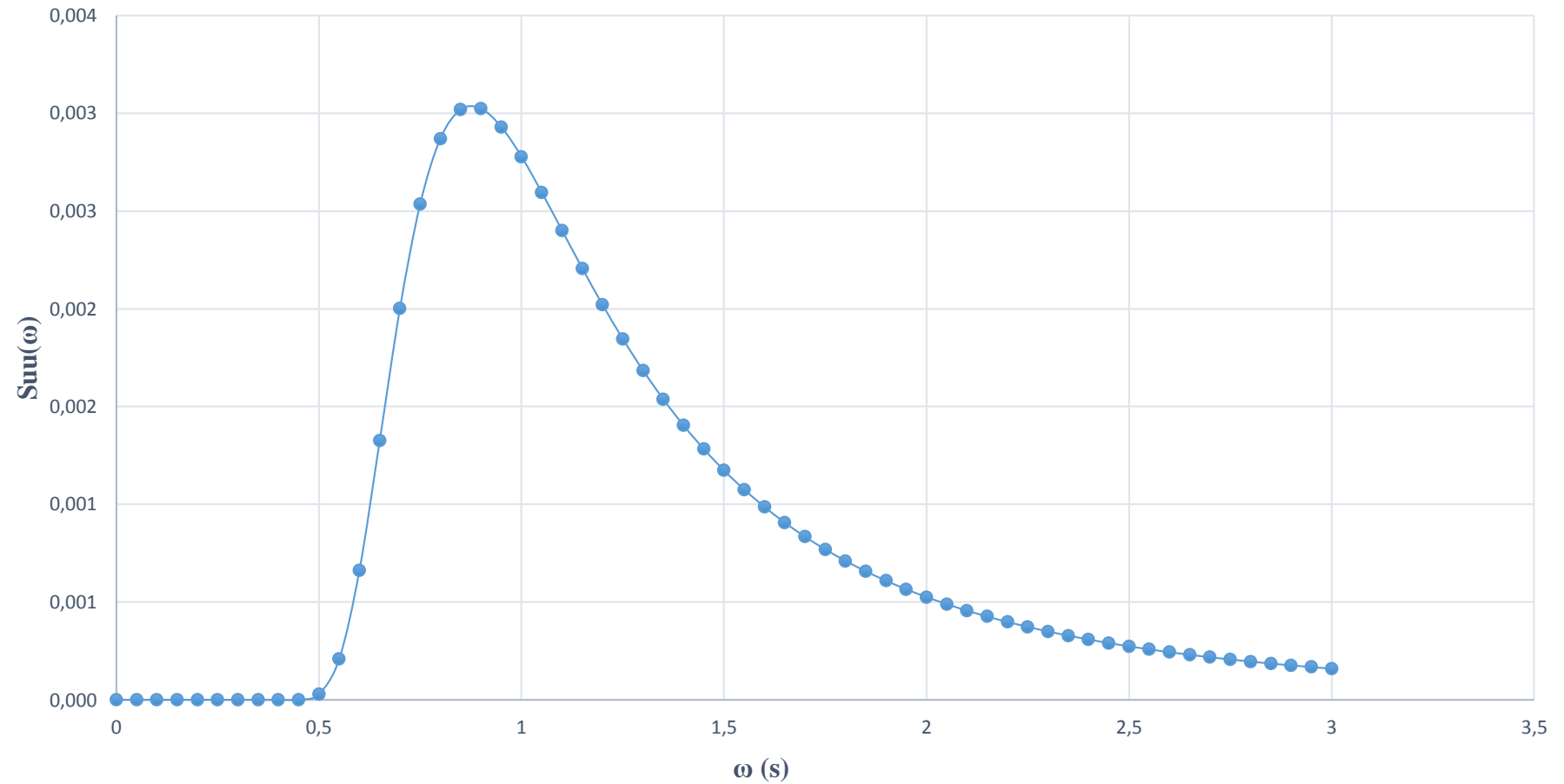
$$S_{uu}(\omega) = G^2(\omega).S_{\eta\eta}(\omega)$$

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
0	0,7709	1	0,07	0,00	0	0,000	0,000	1	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,7709	1	0,07	0,00	0,093303	0,009	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,7709	1	0,07	0,00	0,186607	0,035	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,7709	1	0,07	0,00	0,27991	0,078	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,2	0,7709	1	0,07	0,00	0,373213	0,139	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,25	0,7709	1	0,07	0,00	0,466517	0,218	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,3	0,7709	1	0,07	0,00	0,55982	0,313	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,35	0,7709	1	0,07	0,00	0,653123	0,427	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,4	0,7709	1	0,07	0,00	0,746427	0,557	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,45	0,7709	1	0,07	0,00	0,83973	0,705	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,5	0,7709	1	0,07	0,00	0,933033	0,871	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,55	0,7709	1	0,07	0,00	1,026337	1,053	0,000	4	0,001	0,000	0,000	0,000
0,6	0,7709	1	0,07	0,00	1,11964	1,254	0,001	2	0,001	0,001	0,000	0,000
0,65	0,7709	1	0,07	0,00	1,212943	1,471	0,001	4	0,005	0,003	0,002	0,001
0,7	0,7709	1	0,07	0,00	1,306246	1,706	0,002	2	0,004	0,003	0,002	0,001
0,75	0,7709	1	0,07	0,00	1,39955	1,959	0,003	4	0,010	0,008	0,006	0,003
0,8	0,7709	1	0,07	0,00	1,492853	2,229	0,003	2	0,006	0,005	0,004	0,002
0,85	0,7709	1	0,07	0,00	1,586156	2,516	0,003	4	0,012	0,010	0,009	0,006
0,9	0,7709	1	0,07	0,00	1,67946	2,821	0,003	2	0,006	0,005	0,005	0,004
0,95	0,7709	1	0,07	0,00	1,772763	3,143	0,003	4	0,012	0,011	0,011	0,010
1	0,7709	1	0,07	0,00	1,866066	3,482	0,003	2	0,006	0,006	0,006	0,006

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
1,05	0,7709	1	0,07	0,00	1,95937	3,839	0,003	4	0,010	0,011	0,011	0,013
1,1	0,7709	1	0,07	0,00	2,052673	4,213	0,002	2	0,005	0,005	0,006	0,007
1,15	0,7709	1	0,07	0,00	2,145976	4,605	0,002	4	0,009	0,010	0,012	0,015
1,2	0,7709	1	0,07	0,00	2,23928	5,014	0,002	2	0,004	0,005	0,006	0,008
1,25	0,7709	1	0,07	0,00	2,332583	5,441	0,002	4	0,007	0,009	0,012	0,018
1,3	0,7709	1	0,07	0,00	2,425886	5,885	0,002	2	0,003	0,004	0,006	0,010
1,35	0,7709	1	0,07	0,00	2,51919	6,346	0,002	4	0,006	0,008	0,011	0,020
1,4	0,7709	1	0,07	0,00	2,612493	6,825	0,001	2	0,003	0,004	0,006	0,011
1,45	0,7709	1	0,07	0,00	2,705796	7,321	0,001	4	0,005	0,007	0,011	0,023
1,5	0,7709	1	0,07	0,00	2,7991	7,835	0,001	2	0,002	0,004	0,005	0,012
1,55	0,7709	1	0,07	0,00	2,892403	8,366	0,001	4	0,004	0,007	0,010	0,025
1,6	0,7709	1	0,07	0,00	2,985706	8,914	0,001	2	0,002	0,003	0,005	0,013
1,65	0,7709	1	0,07	0,00	3,07901	9,480	0,001	4	0,004	0,006	0,010	0,027
1,7	0,7709	1	0,07	0,00	3,172313	10,064	0,001	2	0,002	0,003	0,005	0,014
1,75	0,7709	1	0,07	0,00	3,265616	10,664	0,001	4	0,003	0,005	0,009	0,029
1,8	0,7709	1	0,07	0,00	3,35892	11,282	0,001	2	0,001	0,003	0,005	0,015
1,85	0,7709	1	0,07	0,00	3,452223	11,918	0,001	4	0,003	0,005	0,009	0,031
1,9	0,7709	1	0,07	0,00	3,545526	12,571	0,001	2	0,001	0,002	0,004	0,016
1,95	0,7709	1	0,07	0,00	3,638829	13,241	0,001	4	0,002	0,004	0,009	0,033
2	0,7709	1	0,07	0,00	3,732133	13,929	0,001	2	0,001	0,002	0,004	0,017
2,05	0,7709	1	0,07	0,00	3,825436	14,634	0,000	4	0,002	0,004	0,008	0,035
2,1	0,7709	1	0,07	0,00	3,918739	15,357	0,000	2	0,001	0,002	0,004	0,018

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
2,15	0,7709	1	0,07	0,00	4,012043	16,096	0,000	4	0,002	0,004	0,008	0,036
2,2	0,7709	1	0,07	0,00	4,105346	16,854	0,000	2	0,001	0,002	0,004	0,019
2,25	0,7709	1	0,07	0,00	4,198649	17,629	0,000	4	0,001	0,003	0,008	0,038
2,3	0,7709	1	0,07	0,00	4,291953	18,421	0,000	2	0,001	0,002	0,004	0,020
2,35	0,7709	1	0,07	0,00	4,385256	19,230	0,000	4	0,001	0,003	0,007	0,040
2,4	0,7709	1	0,07	0,00	4,478559	20,057	0,000	2	0,001	0,001	0,004	0,020
2,45	0,7709	1	0,07	0,00	4,571863	20,902	0,000	4	0,001	0,003	0,007	0,042
2,5	0,7709	1	0,07	0,00	4,665166	21,764	0,000	2	0,001	0,001	0,003	0,021
2,55	0,7709	1	0,07	0,00	4,758469	22,643	0,000	4	0,001	0,003	0,007	0,044
2,6	0,7709	1	0,07	0,00	4,851773	23,540	0,000	2	0,000	0,001	0,003	0,022
2,65	0,7709	1	0,07	0,00	4,945076	24,454	0,000	4	0,001	0,002	0,006	0,045
2,7	0,7709	1	0,07	0,00	5,038379	25,385	0,000	2	0,000	0,001	0,003	0,023
2,75	0,7709	1	0,07	0,00	5,131683	26,334	0,000	4	0,001	0,002	0,006	0,047
2,8	0,7709	1	0,07	0,00	5,224986	27,300	0,000	2	0,000	0,001	0,003	0,024
2,85	0,7709	1	0,07	0,00	5,318289	28,284	0,000	4	0,001	0,002	0,006	0,049
2,9	0,7709	1	0,07	0,00	5,411593	29,285	0,000	2	0,000	0,001	0,003	0,025
2,95	0,7709	1	0,07	0,00	5,504896	30,304	0,000	4	0,001	0,002	0,006	0,051
3	0,7709	1	0,07	0,00	5,598199	31,340	0,000	1	0,000	0,000	0,001	0,013
Jumlah									0,158	0,202	0,301	1,020

Spektrum Transformasi Gelombang KP 1000



III. KP 1100

A. Menghitung Nilai Konstanta Generalized Philips

$$\alpha = \frac{5}{16} \frac{H_s^2 \omega_p^4}{g^2} (1 - 0,287 \cdot \ln \gamma)$$

$$\alpha = 0,001517$$

B. Menentukan Parameter Lebar Spektra

$$\sigma = \begin{cases} 0,07 & \text{jika } \omega \leq \omega_p \\ 0,09 & \text{jika } \omega > \omega_p \end{cases}$$

C. Menghitung Nilai Peak Enhancement Factor

$$\gamma = \begin{cases} 5,0 & \varphi \leq 3,6 \\ \exp(5,75 - 1,15\varphi) & 3,6 < \varphi < 5,0; \\ 1,0 & \varphi \geq 5,0 \end{cases} \quad \varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$$

$$\varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$$

$$\varphi = 7,59$$

D. Menghitung Nilai Frekuensi Gelombang Puncak

$$\omega_p = \frac{2\pi}{T_p}$$

$$\omega_p = 0,7709$$

E. Menghitung Spektrum JONSWAP

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \cdot \gamma^{\exp\left(-0,5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right)}$$

F. Menghitung Nilai Angka Gelombang

$$\frac{\omega^2}{g} = k \tanh(k d)$$

No	kx asumsi	d	g	ω	kx.d	tanh(kx.d)	k	error
1	0,06072	28	9,81	0,7709	1,70029	0,935445	0,0648	6,242%
2	0,06477	28	9,81	0,7709	1,81349	0,948185	0,0639	1,362%
3	0,06390	28	9,81	0,7709	1,78912	0,945668	0,0641	0,265%
4	0,06407	28	9,81	0,7709	1,79389	0,946169	0,0640	0,053%
5	0,06403	28	9,81	0,7709	1,79294	0,946070	0,0640	0,011%
6	0,06404	28	9,81	0,7709	1,79312	0,946089	0,0640	0,002%
7	0,06404	28	9,81	0,7709	1,79309	0,946085	0,0640	0,000%
8	0,06404	28	9,81	0,7709	1,79309	0,946086	0,0640	0,000%
9	0,06404	28	9,81	0,7709	1,79309	0,946086	0,0640	0,000%
10	0,06404	28	9,81	0,7709	1,79309	0,946086	0,0640	0,000%
11	0,06404	28	9,81	0,7709	1,79309	0,946086	0,0640	0,000%
12	0,06404	28	9,81	0,7709	1,79309	0,946086	0,0640	0,000%
13	0,06404	28	9,81	0,7709	1,79309	0,946086	0,0640	0,000%
14	0,06404	28	9,81	0,7709	1,79309	0,946086	0,0640	0,000%
15	0,06404	28	9,81	0,7709	1,79309	0,946086	0,0640	0,000%

G. Menghitung Nilai Fungsi Transfer

$$G(\omega) = \frac{\omega}{\sinh(k.d)}$$

H. Menghitung Nilai Wave Induced Velocity Spectrum

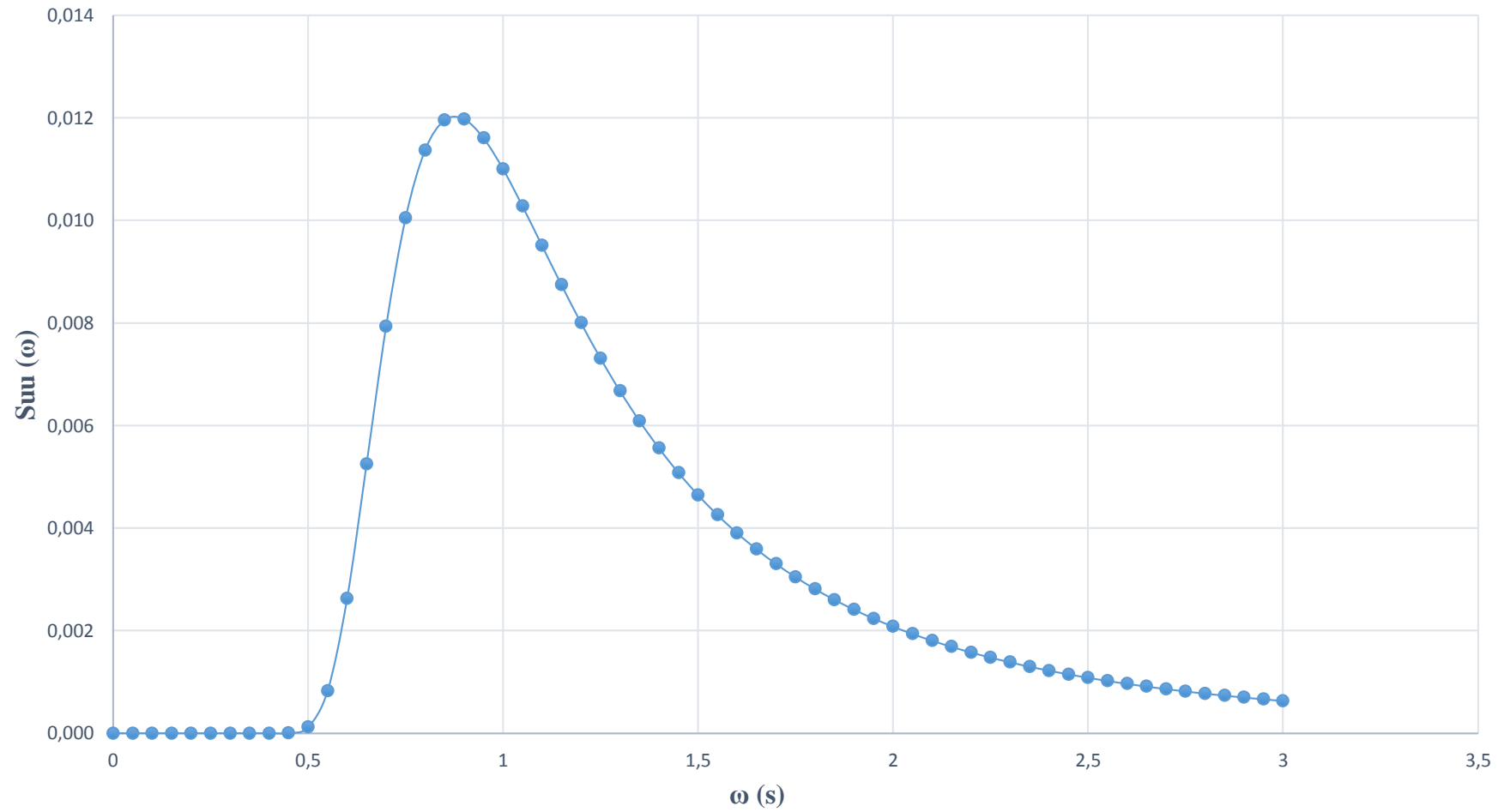
$$S_{uu}(\omega) = G^2(\omega).S_{\eta\eta}(\omega)$$

ω	ωp	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
0	0,7709	1	0,07	0,00	0	0,000	0,000	1	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,7709	1	0,07	0,00	0,017119	0,000	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,7709	1	0,07	0,00	0,034237	0,001	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,7709	1	0,07	0,00	0,051356	0,003	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,2	0,7709	1	0,07	0,00	0,068475	0,005	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,25	0,7709	1	0,07	0,00	0,085594	0,007	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,3	0,7709	1	0,07	0,00	0,102712	0,011	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,35	0,7709	1	0,07	0,00	0,119831	0,014	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,4	0,7709	1	0,07	0,00	0,13695	0,019	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,45	0,7709	1	0,07	0,00	0,154068	0,024	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,5	0,7709	1	0,07	0,00	0,171187	0,029	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,55	0,7709	1	0,07	0,02	0,188306	0,035	0,001	4	0,003	0,002	0,001	0,000
0,6	0,7709	1	0,07	0,06	0,205424	0,042	0,003	2	0,005	0,003	0,002	0,001
0,65	0,7709	1	0,07	0,11	0,222543	0,050	0,005	4	0,021	0,014	0,009	0,004
0,7	0,7709	1	0,07	0,14	0,239662	0,057	0,008	2	0,016	0,011	0,008	0,004
0,75	0,7709	1	0,07	0,15	0,256781	0,066	0,010	4	0,040	0,030	0,023	0,013
0,8	0,7709	1	0,07	0,15	0,273899	0,075	0,011	2	0,023	0,018	0,015	0,009
0,85	0,7709	1	0,07	0,14	0,291018	0,085	0,012	4	0,048	0,041	0,035	0,025
0,9	0,7709	1	0,07	0,13	0,308137	0,095	0,012	2	0,024	0,022	0,019	0,016
0,95	0,7709	1	0,07	0,11	0,325255	0,106	0,012	4	0,046	0,044	0,042	0,038
1	0,7709	1	0,07	0,09	0,342374	0,117	0,011	2	0,022	0,022	0,022	0,022
1,05	0,7709	1	0,07	0,08	0,359493	0,129	0,010	4	0,041	0,043	0,045	0,050
1,1	0,7709	1	0,07	0,07	0,376611	0,142	0,010	2	0,019	0,021	0,023	0,028

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
1,15	0,7709	1	0,07	0,06	0,39373	0,155	0,009	4	0,035	0,040	0,046	0,061
1,2	0,7709	1	0,07	0,05	0,410849	0,169	0,008	2	0,016	0,019	0,023	0,033
1,25	0,7709	1	0,07	0,04	0,427968	0,183	0,007	4	0,029	0,037	0,046	0,071
1,3	0,7709	1	0,07	0,03	0,445086	0,198	0,007	2	0,013	0,017	0,023	0,038
1,35	0,7709	1	0,07	0,03	0,462205	0,214	0,006	4	0,024	0,033	0,044	0,081
1,4	0,7709	1	0,07	0,02	0,479324	0,230	0,006	2	0,011	0,016	0,022	0,043
1,45	0,7709	1	0,07	0,02	0,496442	0,246	0,005	4	0,020	0,029	0,043	0,090
1,5	0,7709	1	0,07	0,02	0,513561	0,264	0,005	2	0,009	0,014	0,021	0,047
1,55	0,7709	1	0,07	0,02	0,53068	0,282	0,004	4	0,017	0,026	0,041	0,098
1,6	0,7709	1	0,07	0,01	0,547799	0,300	0,004	2	0,008	0,012	0,020	0,051
1,65	0,7709	1	0,07	0,01	0,564917	0,319	0,004	4	0,014	0,024	0,039	0,106
1,7	0,7709	1	0,07	0,01	0,582036	0,339	0,003	2	0,007	0,011	0,019	0,055
1,75	0,7709	1	0,07	0,01	0,599155	0,359	0,003	4	0,012	0,021	0,037	0,114
1,8	0,7709	1	0,07	0,01	0,616273	0,380	0,003	2	0,006	0,010	0,018	0,059
1,85	0,7709	1	0,07	0,01	0,633392	0,401	0,003	4	0,010	0,019	0,036	0,122
1,9	0,7709	1	0,07	0,01	0,650511	0,423	0,002	2	0,005	0,009	0,017	0,063
1,95	0,7709	1	0,07	0,01	0,667629	0,446	0,002	4	0,009	0,017	0,034	0,129
2	0,7709	1	0,07	0,00	0,684748	0,469	0,002	2	0,004	0,008	0,017	0,067
2,05	0,7709	1	0,07	0,00	0,701867	0,493	0,002	4	0,008	0,016	0,033	0,137
2,1	0,7709	1	0,07	0,00	0,718986	0,517	0,002	2	0,004	0,008	0,016	0,070
2,15	0,7709	1	0,07	0,00	0,736104	0,542	0,002	4	0,007	0,015	0,031	0,144
2,2	0,7709	1	0,07	0,00	0,753223	0,567	0,002	2	0,003	0,007	0,015	0,074
2,25	0,7709	1	0,07	0,00	0,770342	0,593	0,001	4	0,006	0,013	0,030	0,151

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
2,3	0,7709	1	0,07	0,00	0,78746	0,620	0,001	2	0,003	0,006	0,015	0,077
2,35	0,7709	1	0,07	0,00	0,804579	0,647	0,001	4	0,005	0,012	0,029	0,159
2,4	0,7709	1	0,07	0,00	0,821698	0,675	0,001	2	0,002	0,006	0,014	0,081
2,45	0,7709	1	0,07	0,00	0,838816	0,704	0,001	4	0,005	0,011	0,028	0,166
2,5	0,7709	1	0,07	0,00	0,855935	0,733	0,001	2	0,002	0,005	0,014	0,085
2,55	0,7709	1	0,07	0,00	0,873054	0,762	0,001	4	0,004	0,010	0,027	0,173
2,6	0,7709	1	0,07	0,00	0,890173	0,792	0,001	2	0,002	0,005	0,013	0,088
2,65	0,7709	1	0,07	0,00	0,907291	0,823	0,001	4	0,004	0,010	0,026	0,180
2,7	0,7709	1	0,07	0,00	0,92441	0,855	0,001	2	0,002	0,005	0,013	0,092
2,75	0,7709	1	0,07	0,00	0,941529	0,886	0,001	4	0,003	0,009	0,025	0,187
2,8	0,7709	1	0,07	0,00	0,958647	0,919	0,001	2	0,002	0,004	0,012	0,095
2,85	0,7709	1	0,07	0,00	0,975766	0,952	0,001	4	0,003	0,008	0,024	0,194
2,9	0,7709	1	0,07	0,00	0,992885	0,986	0,001	2	0,001	0,004	0,012	0,099
2,95	0,7709	1	0,07	0,00	1,010003	1,020	0,001	4	0,003	0,008	0,023	0,201
3	0,7709	1	0,07	0,00	1,027122	1,055	0,001	1	0,001	0,002	0,006	0,051
Jumlah									0,468	0,476	0,510	0,673

Spektrum Transformasi Gelombang KP 1100



IV. KP 1200

A. Menghitung Nilai Konstanta Generalized Philips

$$\alpha = \frac{5}{16} \frac{H_s^2 \omega_p^4}{g^2} (1 - 0,287 \cdot \ln \gamma)$$

$$\alpha = 0,0064$$

B. Menentukan Parameter Lebar Spektra

$$\sigma = \begin{cases} 0,07 & \text{jika } \omega \leq \omega_p \\ 0,09 & \text{jika } \omega > \omega_p \end{cases}$$

C. Menghitung Nilai Peak Enhancement Factor

$$\gamma = \begin{cases} 5,0 & \varphi \leq 3,6 \\ \exp(5,75 - 1,15\varphi) & 3,6 < \varphi < 5,0; \\ 1,0 & \varphi \geq 5,0 \end{cases} \quad \varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$$

$$\varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$$

$$\varphi = 5,31$$

D. Menghitung Nilai Frekuensi Gelombang Puncak

$$\omega_p = \frac{2\pi}{T_p}$$

$$\omega_p = 0,7306$$

E. Menghitung Spektrum JONSWAP

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \cdot \gamma^{\exp\left(-0,5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right)}$$

F. Menghitung Nilai Angka Gelombang

$$\frac{\omega^2}{g} = k \tanh(k d)$$

No	kx asumsi	d	g	ω	kx.d	tanh(kx.d)	k	error
1	0,05441	44	9,81	0,7306	2,39424	0,983487	0,0553	1,647%
2	0,05533	44	9,81	0,7306	2,43432	0,984750	0,0553	0,128%
3	0,05525	44	9,81	0,7306	2,43120	0,984655	0,0553	0,010%
4	0,05526	44	9,81	0,7306	2,43143	0,984662	0,0553	0,001%
5	0,05526	44	9,81	0,7306	2,43142	0,984661	0,0553	0,000%
6	0,05526	44	9,81	0,7306	2,43142	0,984661	0,0553	0,000%
7	0,05526	44	9,81	0,7306	2,43142	0,984661	0,0553	0,000%
8	0,05526	44	9,81	0,7306	2,43142	0,984661	0,0553	0,000%
9	0,05526	44	9,81	0,7306	2,43142	0,984661	0,0553	0,000%
10	0,05526	44	9,81	0,7306	2,43142	0,984661	0,0553	0,000%
11	0,05526	44	9,81	0,7306	2,43142	0,984661	0,0553	0,000%
12	0,05526	44	9,81	0,7306	2,43142	0,984661	0,0553	0,000%
13	0,05526	44	9,81	0,7306	2,43142	0,984661	0,0553	0,000%
14	0,05526	44	9,81	0,7306	2,43142	0,984661	0,0553	0,000%
15	0,05526	44	9,81	0,7306	2,43142	0,984661	0,0553	0,000%

G. Menghitung Nilai Fungsi Transfer

$$G(\omega) = \frac{\omega}{\sinh(k.d)}$$

H. Menghitung Nilai Wave Induced Velocity Spectrum

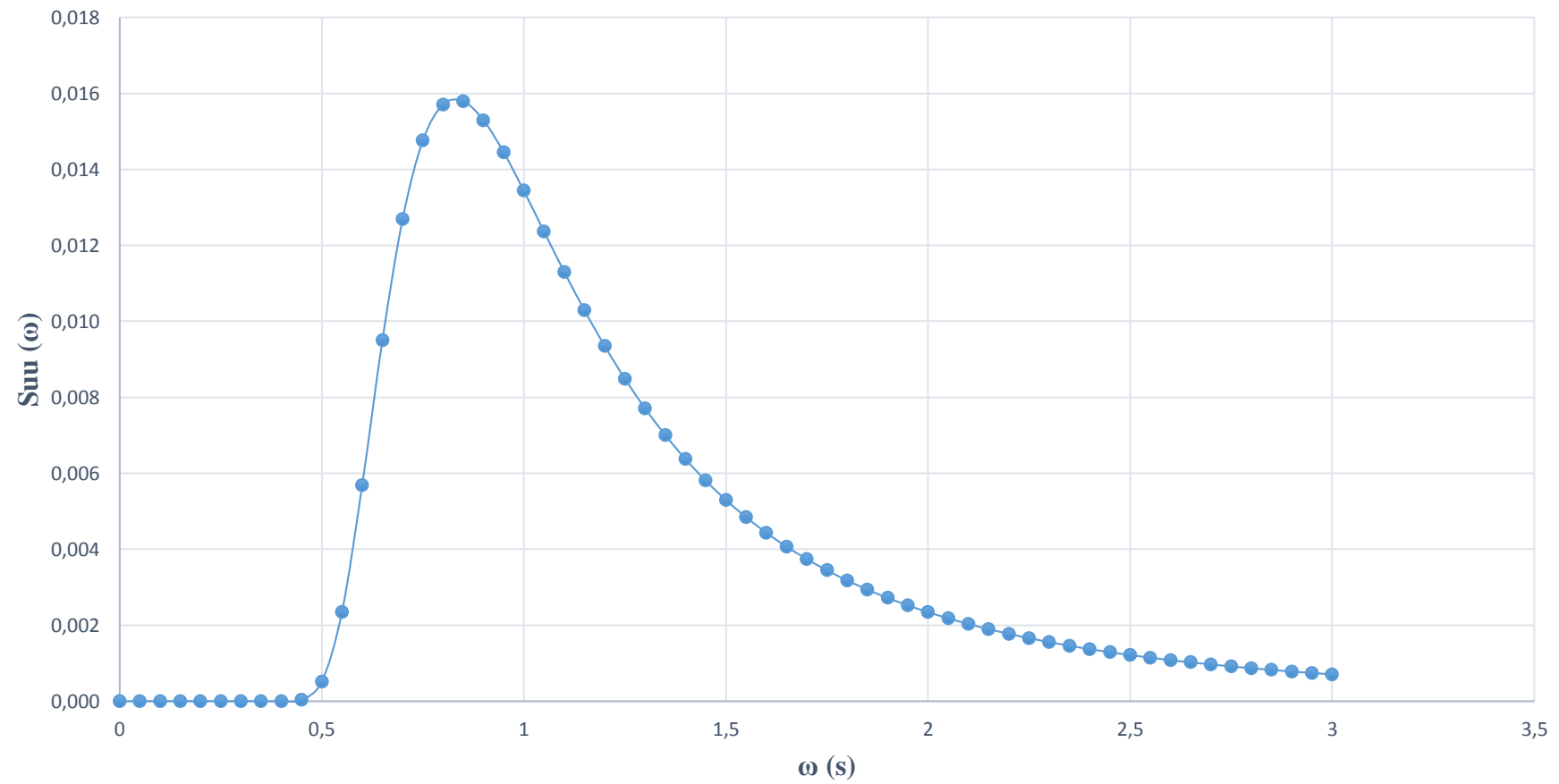
$$S_{uu}(\omega) = G^2(\omega).S_{\eta\eta}(\omega)$$

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
0	0,7306	1	0,07	0,00	0	0,000	0,000	1	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,7306	1	0,07	0,00	0,00886	0,000	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,7306	1	0,07	0,00	0,017719	0,000	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,7306	1	0,07	0,00	0,026579	0,001	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,2	0,7306	1	0,07	0,00	0,035439	0,001	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,25	0,7306	1	0,07	0,00	0,044298	0,002	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,3	0,7306	1	0,07	0,00	0,053158	0,003	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,35	0,7306	1	0,07	0,00	0,062018	0,004	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,4	0,7306	1	0,07	0,00	0,070877	0,005	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,45	0,7306	1	0,07	0,01	0,079737	0,006	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,5	0,7306	1	0,07	0,07	0,088597	0,008	0,001	2	0,001	0,001	0,000	0,000
0,55	0,7306	1	0,07	0,25	0,097457	0,009	0,002	4	0,009	0,005	0,003	0,001
0,6	0,7306	1	0,07	0,50	0,106316	0,011	0,006	2	0,011	0,007	0,004	0,001
0,65	0,7306	1	0,07	0,72	0,115176	0,013	0,010	4	0,038	0,025	0,016	0,007
0,7	0,7306	1	0,07	0,83	0,124036	0,015	0,013	2	0,025	0,018	0,012	0,006
0,75	0,7306	1	0,07	0,84	0,132895	0,018	0,015	4	0,059	0,044	0,033	0,019
0,8	0,7306	1	0,07	0,78	0,141755	0,020	0,016	2	0,031	0,025	0,020	0,013
0,85	0,7306	1	0,07	0,70	0,150615	0,023	0,016	4	0,063	0,054	0,046	0,033
0,9	0,7306	1	0,07	0,60	0,159474	0,025	0,015	2	0,031	0,028	0,025	0,020
0,95	0,7306	1	0,07	0,51	0,168334	0,028	0,014	4	0,058	0,055	0,052	0,047
1	0,7306	1	0,07	0,43	0,177194	0,031	0,013	2	0,027	0,027	0,027	0,027
1,05	0,7306	1	0,07	0,36	0,186053	0,035	0,012	4	0,049	0,052	0,055	0,060
1,1	0,7306	1	0,07	0,30	0,194913	0,038	0,011	2	0,023	0,025	0,027	0,033

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
1,15	0,7306	1	0,07	0,25	0,203773	0,042	0,010	4	0,041	0,047	0,054	0,072
1,2	0,7306	1	0,07	0,21	0,212632	0,045	0,009	2	0,019	0,022	0,027	0,039
1,25	0,7306	1	0,07	0,17	0,221492	0,049	0,008	4	0,034	0,042	0,053	0,083
1,3	0,7306	1	0,07	0,15	0,230352	0,053	0,008	2	0,015	0,020	0,026	0,044
1,35	0,7306	1	0,07	0,12	0,239211	0,057	0,007	4	0,028	0,038	0,051	0,093
1,4	0,7306	1	0,07	0,10	0,248071	0,062	0,006	2	0,013	0,018	0,025	0,049
1,45	0,7306	1	0,07	0,09	0,256931	0,066	0,006	4	0,023	0,034	0,049	0,103
1,5	0,7306	1	0,07	0,08	0,265791	0,071	0,005	2	0,011	0,016	0,024	0,054
1,55	0,7306	1	0,07	0,06	0,27465	0,075	0,005	4	0,019	0,030	0,047	0,112
1,6	0,7306	1	0,07	0,06	0,28351	0,080	0,004	2	0,009	0,014	0,023	0,058
1,65	0,7306	1	0,07	0,05	0,29237	0,085	0,004	4	0,016	0,027	0,044	0,121
1,7	0,7306	1	0,07	0,04	0,301229	0,091	0,004	2	0,007	0,013	0,022	0,063
1,75	0,7306	1	0,07	0,04	0,310089	0,096	0,003	4	0,014	0,024	0,042	0,129
1,8	0,7306	1	0,07	0,03	0,318949	0,102	0,003	2	0,006	0,011	0,021	0,067
1,85	0,7306	1	0,07	0,03	0,327808	0,107	0,003	4	0,012	0,022	0,040	0,138
1,9	0,7306	1	0,07	0,02	0,336668	0,113	0,003	2	0,005	0,010	0,020	0,071
1,95	0,7306	1	0,07	0,02	0,345528	0,119	0,003	4	0,010	0,020	0,038	0,146
2	0,7306	1	0,07	0,02	0,354387	0,126	0,002	2	0,005	0,009	0,019	0,075
2,05	0,7306	1	0,07	0,02	0,363247	0,132	0,002	4	0,009	0,018	0,037	0,154
2,1	0,7306	1	0,07	0,01	0,372107	0,138	0,002	2	0,004	0,009	0,018	0,079
2,15	0,7306	1	0,07	0,01	0,380966	0,145	0,002	4	0,008	0,016	0,035	0,162
2,2	0,7306	1	0,07	0,01	0,389826	0,152	0,002	2	0,004	0,008	0,017	0,083
2,25	0,7306	1	0,07	0,01	0,398686	0,159	0,002	4	0,007	0,015	0,034	0,170

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
2,3	0,7306	1	0,07	0,01	0,407545	0,166	0,002	2	0,003	0,007	0,016	0,087
2,35	0,7306	1	0,07	0,01	0,416405	0,173	0,001	4	0,006	0,014	0,032	0,178
2,4	0,7306	1	0,07	0,01	0,425265	0,181	0,001	2	0,003	0,007	0,016	0,091
2,45	0,7306	1	0,07	0,01	0,434125	0,188	0,001	4	0,005	0,013	0,031	0,186
2,5	0,7306	1	0,07	0,01	0,442984	0,196	0,001	2	0,002	0,006	0,015	0,095
2,55	0,7306	1	0,07	0,01	0,451844	0,204	0,001	4	0,005	0,012	0,030	0,194
2,6	0,7306	1	0,07	0,01	0,460704	0,212	0,001	2	0,002	0,006	0,015	0,099
2,65	0,7306	1	0,07	0,00	0,469563	0,220	0,001	4	0,004	0,011	0,029	0,202
2,7	0,7306	1	0,07	0,00	0,478423	0,229	0,001	2	0,002	0,005	0,014	0,103
2,75	0,7306	1	0,07	0,00	0,487283	0,237	0,001	4	0,004	0,010	0,028	0,210
2,8	0,7306	1	0,07	0,00	0,496142	0,246	0,001	2	0,002	0,005	0,014	0,107
2,85	0,7306	1	0,07	0,00	0,505002	0,255	0,001	4	0,003	0,009	0,027	0,218
2,9	0,7306	1	0,07	0,00	0,513862	0,264	0,001	2	0,002	0,005	0,013	0,111
2,95	0,7306	1	0,07	0,00	0,522721	0,273	0,001	4	0,003	0,009	0,026	0,225
3	0,7306	1	0,07	0,00	0,531581	0,283	0,001	1	0,001	0,002	0,006	0,057
Jumlah									0,791	0,967	1,397	4,595

Spektrum Transformasi Gelombang KP 1200



V. KP 1300

A. Menghitung Nilai Konstanta Generalized Philips

$$\alpha = \frac{5}{16} \frac{H_s^2 \omega_p^4}{g^2} (1 - 0,287 \cdot \ln \gamma)$$

$$\alpha = 0,01$$

B. Menentukan Parameter Lebar Spektra

$$\sigma = \begin{cases} 0,07 & \text{jika } \omega \leq \omega_p \\ 0,09 & \text{jika } \omega > \omega_p \end{cases}$$

C. Menghitung Nilai Peak Enhancement Factor

$$\gamma = \begin{cases} 5,0 & \varphi \leq 3,6 \\ \exp(5,75 - 1,15\varphi) & 3,6 < \varphi < 5,0; \\ 1,0 & \varphi \geq 5,0 \end{cases} \quad \varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$$

$$\varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$$

$$\varphi = 4,49$$

$$\gamma = 1,78$$

D. Menghitung Nilai Frekuensi Gelombang Puncak

$$\omega_p = \frac{2\pi}{T_p}$$

$$\omega_p = 0,694$$

E. Menghitung Spektrum JONSWAP

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \cdot \gamma^{\exp\left(-0.5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right)}$$

F. Menghitung Nilai Angka Gelombang

$$\frac{\omega^2}{g} = k \tanh(k d)$$

No	kx asumsi	d	g	ω	kx.d	$\tanh(kx.d)$	k	error
1	0,04914	62	9,81	0,6943	3,04639	0,995492	0,0494	0,451%
2	0,04936	62	9,81	0,6943	3,06018	0,995614	0,0494	0,012%
3	0,04935	62	9,81	0,6943	3,05981	0,995611	0,0494	0,000%
4	0,04935	62	9,81	0,6943	3,05982	0,995611	0,0494	0,000%
5	0,04935	62	9,81	0,6943	3,05982	0,995611	0,0494	0,000%
6	0,04935	62	9,81	0,6943	3,05982	0,995611	0,0494	0,000%
7	0,04935	62	9,81	0,6943	3,05982	0,995611	0,0494	0,000%
8	0,04935	62	9,81	0,6943	3,05982	0,995611	0,0494	0,000%
9	0,04935	62	9,81	0,6943	3,05982	0,995611	0,0494	0,000%
10	0,04935	62	9,81	0,6943	3,05982	0,995611	0,0494	0,000%
11	0,04935	62	9,81	0,6943	3,05982	0,995611	0,0494	0,000%
12	0,04935	62	9,81	0,6943	3,05982	0,995611	0,0494	0,000%
13	0,04935	62	9,81	0,6943	3,05982	0,995611	0,0494	0,000%
14	0,04935	62	9,81	0,6943	3,05982	0,995611	0,0494	0,000%
15	0,04935	62	9,81	0,6943	3,05982	0,995611	0,0494	0,000%

G. Menghitung Nilai Fungsi Transfer

$$G(\omega) = \frac{\omega}{\sinh(k.d)}$$

H. Menghitung Nilai Wave Induced Velocity Spectrum

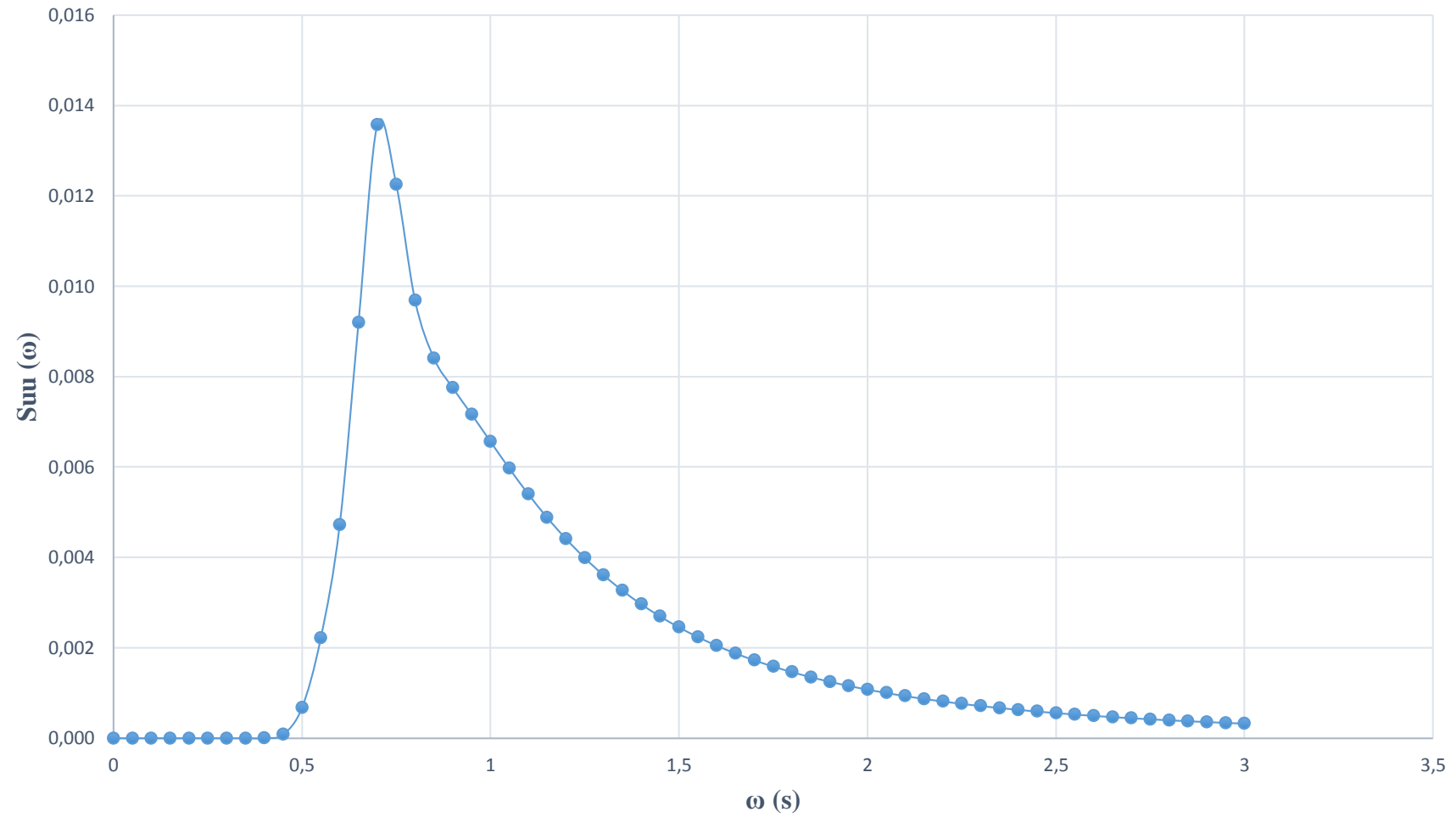
$$S_{uu}(\omega) = G^2(\omega).S_{\eta\eta}(\omega)$$

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
0	0,6943	1	0,07	0,00	0	0,000	0,000	1	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,6943	1	0,07	0,00	0,0047	0,000	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,6943	1	0,07	0,00	0,0094	0,000	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,6943	1	0,07	0,00	0,0141	0,000	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,2	0,6943	1	0,07	0,00	0,0188	0,000	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,25	0,6943	1	0,07	0,00	0,0235	0,001	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,3	0,6943	1	0,07	0,00	0,0282	0,001	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,35	0,6943	1	0,07	0,00	0,0329	0,001	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,4	0,6943	1	0,07	0,00	0,0376	0,001	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,45	0,6943	1	0,07	0,05	0,0423	0,002	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,5	0,6943	1	0,07	0,30	0,047	0,002	0,001	2	0,001	0,001	0,000	0,000
0,55	0,6943	1	0,07	0,83	0,0517	0,003	0,002	4	0,009	0,005	0,003	0,001
0,6	0,6943	1	0,07	1,48	0,0564	0,003	0,005	2	0,009	0,006	0,003	0,001
0,65	0,6943	1	0,07	2,46	0,0611	0,004	0,009	4	0,037	0,024	0,016	0,007
0,7	0,6943	1	0,07	3,14	0,065799	0,004	0,014	2	0,027	0,019	0,013	0,007
0,75	0,6943	1	0,07	2,47	0,070499	0,005	0,012	4	0,049	0,037	0,028	0,016
0,8	0,6943	1	0,07	1,71	0,075199	0,006	0,010	2	0,019	0,015	0,012	0,008
0,85	0,6943	1	0,07	1,32	0,079899	0,006	0,008	4	0,034	0,029	0,024	0,018
0,9	0,6943	1	0,07	1,08	0,084599	0,007	0,008	2	0,016	0,014	0,013	0,010
0,95	0,6943	1	0,07	0,90	0,089299	0,008	0,007	4	0,029	0,027	0,026	0,023
1	0,6943	1	0,07	0,74	0,093999	0,009	0,007	2	0,013	0,013	0,013	0,013
1,05	0,6943	1	0,07	0,61	0,098699	0,010	0,006	4	0,024	0,025	0,026	0,029
1,1	0,6943	1	0,07	0,51	0,103399	0,011	0,005	2	0,011	0,012	0,013	0,016

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
1,15	0,6943	1	0,07	0,42	0,108099	0,012	0,005	4	0,020	0,022	0,026	0,034
1,2	0,6943	1	0,07	0,35	0,112799	0,013	0,004	2	0,009	0,011	0,013	0,018
1,25	0,6943	1	0,07	0,29	0,117499	0,014	0,004	4	0,016	0,020	0,025	0,039
1,3	0,6943	1	0,07	0,24	0,122199	0,015	0,004	2	0,007	0,009	0,012	0,021
1,35	0,6943	1	0,07	0,20	0,126899	0,016	0,003	4	0,013	0,018	0,024	0,043
1,4	0,6943	1	0,07	0,17	0,131599	0,017	0,003	2	0,006	0,008	0,012	0,023
1,45	0,6943	1	0,07	0,15	0,136299	0,019	0,003	4	0,011	0,016	0,023	0,048
1,5	0,6943	1	0,07	0,12	0,140999	0,020	0,002	2	0,005	0,007	0,011	0,025
1,55	0,6943	1	0,07	0,11	0,145699	0,021	0,002	4	0,009	0,014	0,022	0,052
1,6	0,6943	1	0,07	0,09	0,150399	0,023	0,002	2	0,004	0,007	0,010	0,027
1,65	0,6943	1	0,07	0,08	0,155099	0,024	0,002	4	0,008	0,012	0,020	0,056
1,7	0,6943	1	0,07	0,07	0,159799	0,026	0,002	2	0,003	0,006	0,010	0,029
1,75	0,6943	1	0,07	0,06	0,164499	0,027	0,002	4	0,006	0,011	0,019	0,060
1,8	0,6943	1	0,07	0,05	0,169199	0,029	0,001	2	0,003	0,005	0,009	0,031
1,85	0,6943	1	0,07	0,04	0,173899	0,030	0,001	4	0,005	0,010	0,019	0,063
1,9	0,6943	1	0,07	0,04	0,178599	0,032	0,001	2	0,003	0,005	0,009	0,033
1,95	0,6943	1	0,07	0,03	0,183299	0,034	0,001	4	0,005	0,009	0,018	0,067
2	0,6943	1	0,07	0,03	0,187998	0,035	0,001	2	0,002	0,004	0,009	0,034
2,05	0,6943	1	0,07	0,03	0,192698	0,037	0,001	4	0,004	0,008	0,017	0,071
2,1	0,6943	1	0,07	0,02	0,197398	0,039	0,001	2	0,002	0,004	0,008	0,036
2,15	0,6943	1	0,07	0,02	0,202098	0,041	0,001	4	0,003	0,007	0,016	0,074
2,2	0,6943	1	0,07	0,02	0,206798	0,043	0,001	2	0,002	0,004	0,008	0,038
2,25	0,6943	1	0,07	0,02	0,211498	0,045	0,001	4	0,003	0,007	0,015	0,078

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
2,3	0,6943	1	0,07	0,02	0,216198	0,047	0,001	2	0,001	0,003	0,008	0,040
2,35	0,6943	1	0,07	0,01	0,220898	0,049	0,001	4	0,003	0,006	0,015	0,082
2,4	0,6943	1	0,07	0,01	0,225598	0,051	0,001	2	0,001	0,003	0,007	0,042
2,45	0,6943	1	0,07	0,01	0,230298	0,053	0,001	4	0,002	0,006	0,014	0,085
2,5	0,6943	1	0,07	0,01	0,234998	0,055	0,001	2	0,001	0,003	0,007	0,044
2,55	0,6943	1	0,07	0,01	0,239698	0,057	0,001	4	0,002	0,005	0,014	0,089
2,6	0,6943	1	0,07	0,01	0,244398	0,060	0,000	2	0,001	0,003	0,007	0,045
2,65	0,6943	1	0,07	0,01	0,249098	0,062	0,000	4	0,002	0,005	0,013	0,092
2,7	0,6943	1	0,07	0,01	0,253798	0,064	0,000	2	0,001	0,002	0,006	0,047
2,75	0,6943	1	0,07	0,01	0,258498	0,067	0,000	4	0,002	0,005	0,013	0,096
2,8	0,6943	1	0,07	0,01	0,263198	0,069	0,000	2	0,001	0,002	0,006	0,049
2,85	0,6943	1	0,07	0,01	0,267898	0,072	0,000	4	0,002	0,004	0,012	0,100
2,9	0,6943	1	0,07	0,00	0,272598	0,074	0,000	2	0,001	0,002	0,006	0,051
2,95	0,6943	1	0,07	0,00	0,277298	0,077	0,000	4	0,001	0,004	0,012	0,103
3	0,6943	1	0,07	0,00	0,281998	0,080	0,000	1	0,000	0,001	0,003	0,026
Jumlah									0,447	0,506	0,688	2,138

Spektrum Transformasi Gelombang KP 1300



VI. KP 2600

A. Menghitung Nilai Konstanta Generalized Philips

$$\alpha = \frac{5}{16} \frac{H_s^2 \omega_p^4}{g^2} (1 - 0,287 \cdot \ln \gamma)$$

$$\alpha = 0,01$$

B. Menentukan Parameter Lebar Spektra

$$\sigma = \begin{cases} 0,07 & \text{jika } \omega \leq \omega_p \\ 0,09 & \text{jika } \omega > \omega_p \end{cases}$$

C. Menghitung Nilai Peak Enhancement Factor

$$\gamma = \begin{cases} 5,0 & \varphi \leq 3,6 \\ \exp(5,75 - 1,15\varphi) & 3,6 < \varphi < 5,0; \\ 1,0 & \varphi \geq 5,0 \end{cases} \quad \varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$$

$$\varphi = \frac{T_p}{\sqrt{H_s}}$$

$$\varphi = 4,49$$

$$\gamma = 1,79$$

D. Menghitung Nilai Frekuensi Gelombang Puncak

$$\omega_p = \frac{2\pi}{T_p}$$

$$\omega_p = 0,68$$

E. Menghitung Spektrum JONSWAP

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \cdot \gamma^{\exp\left(-0.5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right)}$$

F. Menghitung Nilai Angka Gelombang

$$\frac{\omega^2}{g} = k \tanh(k d)$$

No	kx asumsi	d	g	ω	kx.d	$\tanh(kx.d)$	k	error
1	0,12103	64	9,81	0,6867	7,74592	1,000000	0,0481	151,793%
2	0,04807	64	9,81	0,6867	3,07630	0,995753	0,0483	0,425%
3	0,04827	64	9,81	0,6867	3,08942	0,995863	0,0483	0,011%
4	0,04827	64	9,81	0,6867	3,08908	0,995860	0,0483	0,000%
5	0,04827	64	9,81	0,6867	3,08909	0,995860	0,0483	0,000%
6	0,04827	64	9,81	0,6867	3,08909	0,995860	0,0483	0,000%
7	0,04827	64	9,81	0,6867	3,08909	0,995860	0,0483	0,000%
8	0,04827	64	9,81	0,6867	3,08909	0,995860	0,0483	0,000%
9	0,04827	64	9,81	0,6867	3,08909	0,995860	0,0483	0,000%
10	0,04827	64	9,81	0,6867	3,08909	0,995860	0,0483	0,000%
11	0,04827	64	9,81	0,6867	3,08909	0,995860	0,0483	0,000%
12	0,04827	64	9,81	0,6867	3,08909	0,995860	0,0483	0,000%
13	0,04827	64	9,81	0,6867	3,08909	0,995860	0,0483	0,000%
14	0,04827	64	9,81	0,6867	3,08909	0,995860	0,0483	0,000%
15	0,04827	64	9,81	0,6867	3,08909	0,995860	0,0483	0,000%

G. Menghitung Nilai Fungsi Transfer

$$G(\omega) = \frac{\omega}{\sinh(k.d)}$$

H. Menghitung Nilai Wave Induced Velocity Spectrum

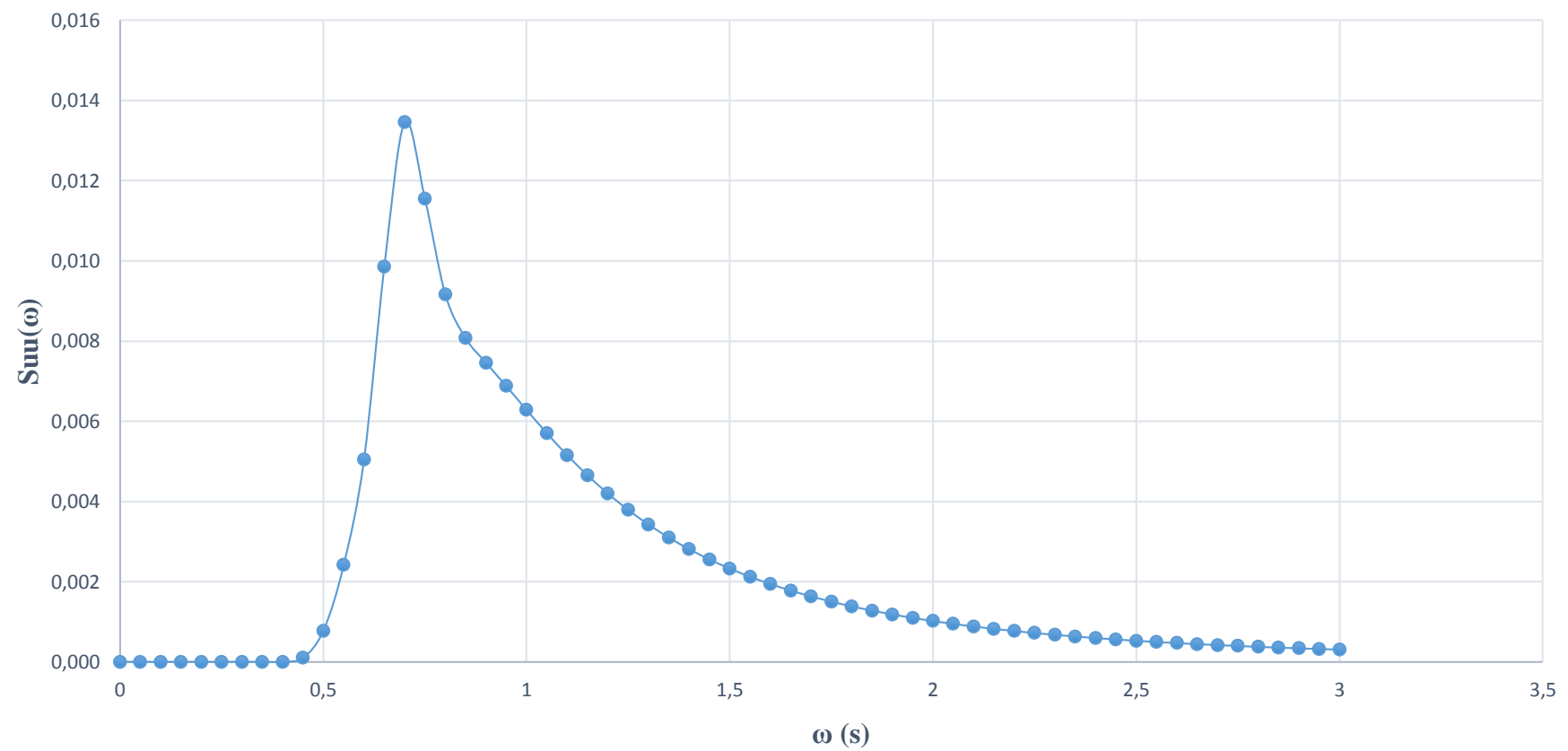
$$S_{uu}(\omega) = G^2(\omega).S_{\eta\eta}(\omega)$$

ω	ω_p	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
0	0,6867	1	0,07	0,00	0	0,000	0,000	1	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,6867	1	0,07	0,00	0,004564	0,000	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,6867	1	0,07	0,00	0,009128	0,000	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,6867	1	0,07	0,00	0,013691	0,000	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,2	0,6867	1	0,07	0,00	0,018255	0,000	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,25	0,6867	1	0,07	0,00	0,022819	0,001	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,3	0,6867	1	0,07	0,00	0,027383	0,001	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,35	0,6867	1	0,07	0,00	0,031947	0,001	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,4	0,6867	1	0,07	0,00	0,036511	0,001	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000
0,45	0,6867	1	0,07	0,06	0,041074	0,002	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000
0,5	0,6867	1	0,07	0,37	0,045638	0,002	0,001	2	0,002	0,001	0,000	0,000
0,55	0,6867	1	0,07	0,96	0,050202	0,003	0,002	4	0,010	0,005	0,003	0,001
0,6	0,6867	1	0,07	1,68	0,054766	0,003	0,005	2	0,010	0,006	0,004	0,001
0,65	0,6867	1	0,07	2,80	0,05933	0,004	0,010	4	0,039	0,026	0,017	0,007
0,7	0,6867	1	0,07	3,30	0,063893	0,004	0,013	2	0,027	0,019	0,013	0,006
0,75	0,6867	1	0,07	2,46	0,068457	0,005	0,012	4	0,046	0,035	0,026	0,015
0,8	0,6867	1	0,07	1,72	0,073021	0,005	0,009	2	0,018	0,015	0,012	0,008
0,85	0,6867	1	0,07	1,34	0,077585	0,006	0,008	4	0,032	0,027	0,023	0,017
0,9	0,6867	1	0,07	1,11	0,082149	0,007	0,007	2	0,015	0,013	0,012	0,010
0,95	0,6867	1	0,07	0,91	0,086713	0,008	0,007	4	0,028	0,026	0,025	0,022
1	0,6867	1	0,07	0,75	0,091276	0,008	0,006	2	0,013	0,013	0,013	0,013

ω	ωp	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
1,05	0,6867	1	0,07	0,62	0,09584	0,009	0,006	4	0,023	0,024	0,025	0,028
1,1	0,6867	1	0,07	0,51	0,100404	0,010	0,005	2	0,010	0,011	0,012	0,015
1,15	0,6867	1	0,07	0,42	0,104968	0,011	0,005	4	0,019	0,021	0,025	0,033
1,2	0,6867	1	0,07	0,35	0,109532	0,012	0,004	2	0,008	0,010	0,012	0,017
1,25	0,6867	1	0,07	0,29	0,114095	0,013	0,004	4	0,015	0,019	0,024	0,037
1,3	0,6867	1	0,07	0,24	0,118659	0,014	0,003	2	0,007	0,009	0,012	0,020
1,35	0,6867	1	0,07	0,20	0,123223	0,015	0,003	4	0,012	0,017	0,023	0,041
1,4	0,6867	1	0,07	0,17	0,127787	0,016	0,003	2	0,006	0,008	0,011	0,022
1,45	0,6867	1	0,07	0,15	0,132351	0,018	0,003	4	0,010	0,015	0,021	0,045
1,5	0,6867	1	0,07	0,12	0,136915	0,019	0,002	2	0,005	0,007	0,010	0,024
1,55	0,6867	1	0,07	0,11	0,141478	0,020	0,002	4	0,008	0,013	0,020	0,049
1,6	0,6867	1	0,07	0,09	0,146042	0,021	0,002	2	0,004	0,006	0,010	0,025
1,65	0,6867	1	0,07	0,08	0,150606	0,023	0,002	4	0,007	0,012	0,019	0,053
1,7	0,6867	1	0,07	0,07	0,15517	0,024	0,002	2	0,003	0,006	0,009	0,027
1,75	0,6867	1	0,07	0,06	0,159734	0,026	0,002	4	0,006	0,011	0,018	0,056
1,8	0,6867	1	0,07	0,05	0,164297	0,027	0,001	2	0,003	0,005	0,009	0,029
1,85	0,6867	1	0,07	0,04	0,168861	0,029	0,001	4	0,005	0,009	0,018	0,060
1,9	0,6867	1	0,07	0,04	0,173425	0,030	0,001	2	0,002	0,004	0,009	0,031
1,95	0,6867	1	0,07	0,03	0,177989	0,032	0,001	4	0,004	0,009	0,017	0,063
2	0,6867	1	0,07	0,03	0,182553	0,033	0,001	2	0,002	0,004	0,008	0,033
2,05	0,6867	1	0,07	0,03	0,187117	0,035	0,001	4	0,004	0,008	0,016	0,067
2,1	0,6867	1	0,07	0,02	0,19168	0,037	0,001	2	0,002	0,004	0,008	0,034
2,15	0,6867	1	0,07	0,02	0,196244	0,039	0,001	4	0,003	0,007	0,015	0,070

ω	ωp	γ	σ	$S\eta\eta(\omega)$	$G(\omega)$	$G^2(\omega)$	$Suu(\omega)$	FS	M_0	M_1	M_2	M_4
2,2	0,6867	1	0,07	0,02	0,200808	0,040	0,001	2	0,002	0,003	0,007	0,036
2,25	0,6867	1	0,07	0,02	0,205372	0,042	0,001	4	0,003	0,006	0,015	0,074
2,3	0,6867	1	0,07	0,02	0,209936	0,044	0,001	2	0,001	0,003	0,007	0,038
2,35	0,6867	1	0,07	0,01	0,214499	0,046	0,001	4	0,003	0,006	0,014	0,077
2,4	0,6867	1	0,07	0,01	0,219063	0,048	0,001	2	0,001	0,003	0,007	0,039
2,45	0,6867	1	0,07	0,01	0,223627	0,050	0,001	4	0,002	0,005	0,013	0,081
2,5	0,6867	1	0,07	0,01	0,228191	0,052	0,001	2	0,001	0,003	0,007	0,041
2,55	0,6867	1	0,07	0,01	0,232755	0,054	0,000	4	0,002	0,005	0,013	0,084
2,6	0,6867	1	0,07	0,01	0,237319	0,056	0,000	2	0,001	0,002	0,006	0,043
2,65	0,6867	1	0,07	0,01	0,241882	0,059	0,000	4	0,002	0,005	0,012	0,087
2,7	0,6867	1	0,07	0,01	0,246446	0,061	0,000	2	0,001	0,002	0,006	0,045
2,75	0,6867	1	0,07	0,01	0,25101	0,063	0,000	4	0,002	0,004	0,012	0,091
2,8	0,6867	1	0,07	0,01	0,255574	0,065	0,000	2	0,001	0,002	0,006	0,046
2,85	0,6867	1	0,07	0,01	0,260138	0,068	0,000	4	0,001	0,004	0,012	0,094
2,9	0,6867	1	0,07	0,00	0,264701	0,070	0,000	2	0,001	0,002	0,006	0,048
2,95	0,6867	1	0,07	0,00	0,269265	0,073	0,000	4	0,001	0,004	0,011	0,098
3	0,6867	1	0,07	0,00	0,273829	0,075	0,000	1	0,000	0,001	0,003	0,025
Jumlah									0,434	0,486	0,656	2,026

Spektrum Transformasi Gelombang KP 2600



LAMPIRAN III

Soil Resistance

- Initial penetration for clay (DNV RP F109 - Equation 3.29)

$$\frac{z_{pi}}{D} = 0.0071 \cdot \left(\frac{G_c^{0.3}}{\kappa_c} \right)^{3.2} + 0.062 \cdot \left(\frac{G_c^{0.3}}{\kappa_c} \right)^{0.7}$$

$$G_c = \frac{s_u}{D \cdot \gamma_s} \quad \text{and} \quad \kappa_c = \frac{s_u \cdot D}{w_s - F_z} = \frac{s_u \cdot D}{F_c}$$

CALCULATION			
D	=	0,38265	m
Su	=	4000	Pa
γs	=	60,662	N/m ³
Gc	=	0,17232	
ws	=	1429,27	N/m
kc	=	1,0709	
Zpi/D	=	0,0419	m
Zpi	=	0,01603	m

- Passive Soil Resistance for clay (DNV RP F109 – Equation 3.25)

$$\frac{F_R}{F_c} = \frac{4,1 \cdot k_c}{G_c^{0,39}} \cdot \left(\frac{z_p}{D} \right)^{1,31}$$

$$F_c = w_s - F_z$$

$$F_c = w_s - 0$$

$$F_c = 1429,267 \text{ N/m}$$

$$F_R = 195,2722 \text{ N/m}$$

- Load Reduction (DNV RP F109 Equation 3.19 – 3.20)

$$r_{pen,y} = 1.0 - 1.4 \cdot \frac{Z_p}{D} \quad \text{however} \geq 0.3$$

$$r_{pen,z} = 1.0 - 1.3 \cdot \frac{Z_p}{D} - 0.1 \quad \text{however} \geq 0.0$$

Koefisien Reduksi	
rperm,z	= 1 <small>*(non permeable)</small>
Zp	= 0,01603 m
rpen,z	= 1,00000
rpen,y	= 0,300
rtot,y	= 0,300
rtot,z	= 1,000

LAMPIRAN IV
Perhitungan Gaya Hidrodinamis

I. KP 900

- Momen spektra

$$\begin{aligned}M_0 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_0 \\&= 0,005045263\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_1 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_1 \\&= 0,01\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_2 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_2 \\&= 0,00006\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_4 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_2 \\&= 1,69E-08\end{aligned}$$

- Kecepatan Arus

$$V_c = V_c(z_r) \cdot \left(\frac{\left(\left(1 + \frac{z_0}{D} \right) \cdot \ln \left(\frac{D}{z_0} + 1 \right) - 1 \right)}{\ln \left(\frac{z_r}{z_0} + 1 \right)} \right) \cdot \sin \theta_c$$

$$V = 0,578 \text{ m/s}$$

- Parameter Hidrodinamis

$$U_s = 0,142$$

$$T_u = 4,561$$

$$\begin{aligned}\tau &= T/T_u \quad (T \text{ storm 3 jam}) \\&= 2367,684\end{aligned}$$

$$T_n = 0,235$$

$$k_t = 1,250$$

$$T_n/t_u = 0,051$$

$$T^*/T_u = 1,186 \quad \text{if } T_n/T_u < 0.2$$

$$T^*/T_u = 1,000 \quad \text{if } T_n/T_u > 0.2$$

$$T^* = \mathbf{5,409}$$

$$\begin{aligned} U^*/U_s &= 2,044 \text{ detik} \\ U^* &= \mathbf{0,290} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K^* &= 4,105 \\ M^* &= 1,989 \end{aligned}$$

- Keulegan Carpenter

Table 3-9 Peak horizontal load coefficients												
C_Y^*		K^*										
		2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	100	≥ 140
M^*	0.0	13.0	6.80	4.55	3.33	2.72	2.40	2.15	1.95	1.80	1.52	1.30
	0.1	10.7	5.76	3.72	2.72	2.20	1.90	1.71	1.58	1.49	1.33	1.22
	0.2	9.02	5.00	3.15	2.30	1.85	1.58	1.42	1.33	1.27	1.18	1.14
	0.3	7.64	4.32	2.79	2.01	1.63	1.44	1.33	1.26	1.21	1.14	1.09
	0.4	6.63	3.80	2.51	1.78	1.46	1.32	1.25	1.19	1.16	1.10	1.05
	0.6	5.07	3.30	2.27	1.71	1.43	1.34	1.29	1.24	1.18	1.08	1.00
	0.8	4.01	2.70	2.01	1.57	1.44	1.37	1.31	1.24	1.17	1.05	1.00
	1.0	3.25	2.30	1.75	1.49	1.40	1.34	1.27	1.20	1.13	1.01	1.00
	2.0	1.52	1.50	1.45	1.39	1.34	1.20	1.08	1.03	1.00	1.00	1.00
	5.0	1.11	1.10	1.07	1.06	1.04	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Table 3-10 Peak vertical load coefficients												
C_Z^*		K^*										
		≤ 2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	100	≥ 140
M^*	0.0	5.00	5.00	4.85	3.21	2.55	2.26	2.01	1.81	1.63	1.26	1.05
	0.1	3.87	4.08	4.23	2.87	2.15	1.77	1.55	1.41	1.31	1.11	0.97
	0.2	3.16	3.45	3.74	2.60	1.86	1.45	1.26	1.16	1.09	1.00	0.90
	0.3	3.01	3.25	3.53	2.14	1.52	1.26	1.10	1.01	0.99	0.95	0.90
	0.4	2.87	3.08	3.35	1.82	1.29	1.11	0.98	0.90	0.90	0.90	0.90
	0.6	2.21	2.36	2.59	1.59	1.20	1.03	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90
	0.8	1.53	1.61	1.80	1.18	1.05	0.97	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90
	1.0	1.05	1.13	1.28	1.12	0.99	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	2.0	0.96	1.03	1.05	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	5.0	0.91	0.92	0.93	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	10	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90

Dari tabel didapatkan:

$$C_y^* = 1,519$$

$$C_z^* = 1,006$$

II. KP 1000

- Momen spektra

$$\begin{aligned} M_0 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_0 \\ &= 0,00264 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_1 \\ &= 0,0034 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_2 \\ &= 0,005 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_4 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_2 \\ &= 0,017 \end{aligned}$$

- Kecepatan Arus

$$V_c = V_c(z_r) \cdot \left(\frac{\left(\left(1 + \frac{z_0}{D} \right) \cdot \ln \left(\frac{D}{z_0} + 1 \right) - 1 \right)}{\ln \left(\frac{z_r}{z_0} + 1 \right)} \right) \cdot \sin \theta_c$$

$$V = 0,673 \text{ m/s}$$

- Parameter Hidrodinamis

$$U_s = 0,103$$

$$T_u = 4,561$$

$$\begin{aligned} \tau &= T/T_u \quad (T \text{ storm 3 jam}) \\ &= 2367,684 \end{aligned}$$

$$T_n = 0,638$$

$$k_t = 1,25$$

$$T_n/t_u = 0,139$$

$$T^*/T_u = 1,075 \quad \text{if } T_n/T_u < 0.2$$

$$T^*/T_u = 1,000 \quad \text{if } T_n/T_u > 0.2$$

$$T^* = \mathbf{4,904} \quad \text{detik}$$

$$\begin{aligned} U^*/U_s &= 2,044 \quad \text{detik} \\ U^* &= \mathbf{0,210} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K^* &= 2,69 \\ M^* &= 3,21 \end{aligned}$$

- Keulegan Carpenter

Table 3-9 Peak horizontal load coefficients												
C_Y^*		K^*										
		2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	100	≥ 140
M^*	0.0	13.0	6.80	4.55	3.33	2.72	2.40	2.15	1.95	1.80	1.52	1.30
	0.1	10.7	5.76	3.72	2.72	2.20	1.90	1.71	1.58	1.49	1.33	1.22
	0.2	9.02	5.00	3.15	2.30	1.85	1.58	1.42	1.33	1.27	1.18	1.14
	0.3	7.64	4.32	2.79	2.01	1.63	1.44	1.33	1.26	1.21	1.14	1.09
	0.4	6.63	3.80	2.51	1.78	1.46	1.32	1.25	1.19	1.16	1.10	1.05
	0.6	5.07	3.30	2.27	1.71	1.43	1.34	1.29	1.24	1.18	1.08	1.00
	0.8	4.01	2.70	2.01	1.57	1.44	1.37	1.31	1.24	1.17	1.05	1.00
	1.0	3.25	2.30	1.75	1.49	1.40	1.34	1.27	1.20	1.13	1.01	1.00
	2.0	1.52	1.50	1.45	1.39	1.34	1.20	1.08	1.03	1.00	1.00	1.00
	5.0	1.11	1.10	1.07	1.06	1.04	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Table 3-10 Peak vertical load coefficients												
C_Z^*		K^*										
		≤ 2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	100	≥ 140
M^*	0.0	5.00	5.00	4.85	3.21	2.55	2.26	2.01	1.81	1.63	1.26	1.05
	0.1	3.87	4.08	4.23	2.87	2.15	1.77	1.55	1.41	1.31	1.11	0.97
	0.2	3.16	3.45	3.74	2.60	1.86	1.45	1.26	1.16	1.09	1.00	0.90
	0.3	3.01	3.25	3.53	2.14	1.52	1.26	1.10	1.01	0.99	0.95	0.90
	0.4	2.87	3.08	3.35	1.82	1.29	1.11	0.98	0.90	0.90	0.90	0.90
	0.6	2.21	2.36	2.59	1.59	1.20	1.03	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90
	0.8	1.53	1.61	1.80	1.18	1.05	0.97	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90
	1.0	1.05	1.13	1.28	1.12	0.99	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	2.0	0.96	1.03	1.05	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	5.0	0.91	0.92	0.93	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	10	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90

Dari tabel didapatkan:

$$C_y^* = 1,354$$

$$C_z^* = 0,943$$

III. KP 1100

- Momen spektra

$$\begin{aligned} M_0 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_0 \\ &= 0,0078 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_1 \\ &= 0,0079 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_2 \\ &= 0,008 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_4 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_2 \\ &= 0,011 \end{aligned}$$

- Kecepatan Arus

$$V_c = V_c(z_r) \cdot \left(\frac{\left(\left(1 + \frac{z_0}{D} \right) \cdot \ln \left(\frac{D}{z_0} + 1 \right) - 1 \right)}{\ln \left(\frac{z_r}{z_0} + 1 \right)} \right) \cdot \sin \theta_c$$

$$V = 0,232 \text{ m/s}$$

- Parameter Hidrodinamis

$$U_s = 0,177$$

$$T_u = 6,014$$

$$\begin{aligned} \tau &= T/T_u \quad (T \text{ storm 3 jam}) \\ &= 1795,68 \end{aligned}$$

$$T_n = 1,69$$

$$kt = 1,17$$

$$T_n/t_u = 0,28$$

$$T^*/T_u = 0,93 \quad \text{if } T_n/T_u < 0.2$$

$$T^*/T_u = 1,000 \quad \text{if } T_n/T_u > 0.2$$

$$T^* = \mathbf{6,014} \quad \text{detik}$$

$$\begin{aligned} U^*/U_s &= 2,044 \text{ detik} \\ U^* &= \mathbf{0,355} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K^* &= 5,58 \\ M^* &= 0,65 \end{aligned}$$

- Keulegan Carpenter

Table 3-9 Peak horizontal load coefficients												
C_Y^*		K^*										
		2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	100	≥ 140
M^*	0.0	13.0	6.80	4.55	3.33	2.72	2.40	2.15	1.95	1.80	1.52	1.30
	0.1	10.7	5.76	3.72	2.72	2.20	1.90	1.71	1.58	1.49	1.33	1.22
	0.2	9.02	5.00	3.15	2.30	1.85	1.58	1.42	1.33	1.27	1.18	1.14
	0.3	7.64	4.32	2.79	2.01	1.63	1.44	1.33	1.26	1.21	1.14	1.09
	0.4	6.63	3.80	2.51	1.78	1.46	1.32	1.25	1.19	1.16	1.10	1.05
	0.6	5.07	3.30	2.27	1.71	1.43	1.34	1.29	1.24	1.18	1.08	1.00
	0.8	4.01	2.70	2.01	1.57	1.44	1.37	1.31	1.24	1.17	1.05	1.00
	1.0	3.25	2.30	1.75	1.49	1.40	1.34	1.27	1.20	1.13	1.01	1.00
	2.0	1.52	1.50	1.45	1.39	1.34	1.20	1.08	1.03	1.00	1.00	1.00
	5.0	1.11	1.10	1.07	1.06	1.04	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Table 3-10 Peak vertical load coefficients												
C_Z^*		K^*										
		≤ 2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	100	≥ 140
M^*	0.0	5.00	5.00	4.85	3.21	2.55	2.26	2.01	1.81	1.63	1.26	1.05
	0.1	3.87	4.08	4.23	2.87	2.15	1.77	1.55	1.41	1.31	1.11	0.97
	0.2	3.16	3.45	3.74	2.60	1.86	1.45	1.26	1.16	1.09	1.00	0.90
	0.3	3.01	3.25	3.53	2.14	1.52	1.26	1.10	1.01	0.99	0.95	0.90
	0.4	2.87	3.08	3.35	1.82	1.29	1.11	0.98	0.90	0.90	0.90	0.90
	0.6	2.21	2.36	2.59	1.59	1.20	1.03	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90
	0.8	1.53	1.61	1.80	1.18	1.05	0.97	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90
	1.0	1.05	1.15	1.28	1.12	0.99	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	2.0	0.96	1.03	1.05	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	5.0	0.91	0.92	0.93	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	10	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90

Dari tabel didapatkan:

$$C_Y^* = 3,027$$

$$C_Z^* = 2,180$$

IV. KP 1200

- Momen spektra

$$\begin{aligned} M_0 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_0 \\ &= 0,013 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_1 \\ &= 0,016 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_2 \\ &= 0,023 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_4 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_2 \\ &= 0,077 \end{aligned}$$

- Kecepatan Arus

$$V_c = V_c(z_r) \cdot \left(\frac{\left(\left(1 + \frac{z_0}{D} \right) \cdot \ln \left(\frac{D}{z_0} + 1 \right) - 1 \right)}{\ln \left(\frac{z_r}{z_0} + 1 \right)} \right) \cdot \sin \theta_c$$

$$V = 0,125 \text{ m/s}$$

- Parameter Hidrodinamis

$$U_s = 0,23$$

$$T_u = 4,728$$

$$\begin{aligned} \tau &= T/T_u \quad (T \text{ storm 3 jam}) \\ &= 2284,42 \end{aligned}$$

$$T_n = 2,118$$

$$kt = 1,17$$

$$T_n/t_u = 0,448$$

$$T^*/T_u = 0,789 \quad \text{if } T_n/T_u < 0.2$$

$$T^*/T_u = 1,000 \quad \text{if } T_n/T_u > 0.2$$

$$T^* = \mathbf{4,728} \quad \text{detik}$$

$$\begin{aligned} U^*/U_s &= 2,040 \text{ detik} \\ U^* &= \mathbf{0,468} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K^* &= 5,788 \\ M^* &= 0,266 \end{aligned}$$

- Keulegan Carpenter

Table 3-9 Peak horizontal load coefficients												
C_Y^*		K^*										
		2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	100	≥ 140
M^*	0.0	13.0	6.80	4.55	3.33	2.72	2.40	2.15	1.95	1.80	1.52	1.30
	0.1	10.7	5.76	3.72	2.72	2.20	1.90	1.71	1.58	1.49	1.33	1.22
	0.2	9.02	5.00	3.15	2.30	1.85	1.58	1.42	1.33	1.27	1.18	1.14
	0.3	7.64	4.32	2.79	2.01	1.63	1.44	1.33	1.26	1.21	1.14	1.09
	0.4	6.63	3.80	2.51	1.78	1.46	1.32	1.25	1.19	1.16	1.10	1.05
	0.6	5.07	3.30	2.27	1.71	1.43	1.34	1.29	1.24	1.18	1.08	1.00
	0.8	4.01	2.70	2.01	1.57	1.44	1.37	1.31	1.24	1.17	1.05	1.00
	1.0	3.25	2.30	1.75	1.49	1.40	1.34	1.27	1.20	1.13	1.01	1.00
	2.0	1.52	1.50	1.45	1.39	1.34	1.20	1.08	1.03	1.00	1.00	1.00
	5.0	1.11	1.10	1.07	1.06	1.04	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Table 3-10 Peak vertical load coefficients												
C_Z^*		K^*										
		≤ 2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	100	≥ 140
M^*	0.0	5.00	5.00	4.85	3.21	2.55	2.26	2.01	1.81	1.63	1.26	1.05
	0.1	3.87	4.08	4.23	2.87	2.15	1.77	1.55	1.41	1.31	1.11	0.97
	0.2	3.16	3.45	3.74	2.60	1.86	1.45	1.26	1.16	1.09	1.00	0.90
	0.3	3.01	3.25	3.53	2.14	1.52	1.26	1.10	1.01	0.99	0.95	0.90
	0.4	2.87	3.08	3.35	1.82	1.29	1.11	0.98	0.90	0.90	0.90	0.90
	0.6	2.21	2.36	2.59	1.59	1.20	1.03	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90
	0.8	1.53	1.61	1.80	1.18	1.05	0.97	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90
	1.0	1.05	1.13	1.28	1.12	0.99	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	2.0	0.96	1.03	1.05	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	5.0	0.91	0.92	0.93	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	10	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90

Dari tabel didapatkan:

$$C_y^* = 4,294$$

$$C_z^* = 3,363$$

V. KP 1300

- Momen spektra

$$\begin{aligned} M_0 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_0 \\ &= 0,007 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_1 \\ &= 0,008 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_2 \\ &= 0,011 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_4 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_2 \\ &= 0,036 \end{aligned}$$

- Kecepatan Arus

$$V_c = V_c(z_r) \cdot \left(\frac{\left(\left(1 + \frac{z_0}{D} \right) \cdot \ln \left(\frac{D}{z_0} + 1 \right) - 1 \right)}{\ln \left(\frac{z_r}{z_0} + 1 \right)} \right) \cdot \sin \theta_c$$

$$V = 0,106 \text{ m/s}$$

- Parameter Hidrodinamis

$$U_s = 0,173$$

$$T_u = 5,067$$

$$\begin{aligned} \tau &= T/T_u \quad (T \text{ storm 3 jam}) \\ &= 2131,504 \end{aligned}$$

$$T_n = 2,514$$

$$k_t = 1,186$$

$$T_n/t_u = 0,496$$

$$T^*/T_u = 0,725 \quad \text{if } T_n/T_u < 0.2$$

$$T^*/T_u = 1,000 \quad \text{if } T_n/T_u > 0.2$$

$$T^* = \mathbf{5,067} \quad \text{detik}$$

$$\begin{aligned} U^*/U_s &= 2,031 \text{ detik} \\ U^* &= \mathbf{0,485} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K^* &= 6,429 \\ M^* &= 0,219 \end{aligned}$$

- Keulegan Carpenter

Table 3-9 Peak horizontal load coefficients												
C_Y^*		K^*										
		2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	100	≥ 140
M^*	0.0	13.0	6.80	4.55	3.33	2.72	2.40	2.15	1.95	1.80	1.52	1.30
	0.1	10.7	5.76	3.72	2.72	2.20	1.90	1.71	1.58	1.49	1.33	1.22
	0.2	9.02	5.00	3.15	2.30	1.85	1.58	1.42	1.33	1.27	1.18	1.14
	0.3	7.64	4.32	2.79	2.01	1.63	1.44	1.33	1.26	1.21	1.14	1.09
	0.4	6.63	3.80	2.51	1.78	1.46	1.32	1.25	1.19	1.16	1.10	1.05
	0.6	5.07	3.30	2.27	1.71	1.43	1.34	1.29	1.24	1.18	1.08	1.00
	0.8	4.01	2.70	2.01	1.57	1.44	1.37	1.31	1.24	1.17	1.05	1.00
	1.0	3.25	2.30	1.75	1.49	1.40	1.34	1.27	1.20	1.13	1.01	1.00
	2.0	1.52	1.50	1.45	1.39	1.34	1.20	1.08	1.03	1.00	1.00	1.00
	5.0	1.11	1.10	1.07	1.06	1.04	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Table 3-10 Peak vertical load coefficients												
C_Z^*		K^*										
		≤ 2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	100	≥ 140
M^*	0.0	5.00	5.00	4.85	3.21	2.55	2.26	2.01	1.81	1.63	1.26	1.05
	0.1	3.87	4.08	4.23	2.87	2.15	1.77	1.55	1.41	1.31	1.11	0.97
	0.2	3.16	3.45	3.74	2.60	1.86	1.45	1.26	1.16	1.09	1.00	0.90
	0.3	3.01	3.25	3.53	2.14	1.52	1.26	1.10	1.01	0.99	0.95	0.90
	0.4	2.87	3.08	3.35	1.82	1.29	1.11	0.98	0.90	0.90	0.90	0.90
	0.6	2.21	2.36	2.59	1.59	1.20	1.03	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90
	0.8	1.53	1.61	1.80	1.18	1.05	0.97	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90
	1.0	1.05	1.13	1.28	1.12	0.99	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	2.0	0.96	1.03	1.05	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	5.0	0.91	0.92	0.93	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	10	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90

Dari tabel didapatkan:

$$C_y^* = 4,359$$

$$C_z^* = 3,494$$

VI. KP 2600

- Momen spektra

$$\begin{aligned} M_0 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_0 \\ &= 0,007 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_1 \\ &= 0,008 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_2 \\ &= 0,011 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_4 &= 1/3 \times \Delta w \times \Sigma M_2 \\ &= 0,034 \end{aligned}$$

- Kecepatan Arus

$$V_c = V_c(z_r) \cdot \left(\frac{\left(\left(1 + \frac{z_0}{D} \right) \cdot \ln \left(\frac{D}{z_0} + 1 \right) - 1 \right)}{\ln \left(\frac{z_r}{z_0} + 1 \right)} \right) \cdot \sin \theta_c$$

$$V = 0,106 \text{ m/s}$$

- Parameter Hidrodinamis

$$U_s = 0,170$$

$$T_u = 5,108$$

$$\begin{aligned} \tau &= T/T_u \quad (T \text{ storm 3 jam}) \\ &= 2114,317 \end{aligned}$$

$$T_n = 2,554$$

$$k_t = 1,186$$

$$T_n/t_u = 0,500$$

$$T^*/T_u = 0,721 \quad \text{if } T_n/T_u < 0.2$$

$$T^*/T_u = 1,000 \quad \text{if } T_n/T_u > 0.2$$

$$T^* = \mathbf{5,108} \quad \text{detik}$$

$$\begin{aligned} U^*/U_s &= 2,030 \quad \text{detik} \\ U^* &= \mathbf{0,480} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K^* &= 6,410 \\ M^* &= 0,222 \end{aligned}$$

- Keulegan Carpenter

Table 3-9 Peak horizontal load coefficients												
C_Y^*		K^*										
		2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	100	≥ 140
M^*	0.0	13.0	6.80	4.55	3.33	2.72	2.40	2.15	1.95	1.80	1.52	1.30
	0.1	10.7	5.76	3.72	2.72	2.20	1.90	1.71	1.58	1.49	1.33	1.22
	0.2	9.02	5.00	3.15	2.30	1.85	1.58	1.42	1.33	1.27	1.18	1.14
	0.3	7.64	4.32	2.79	2.01	1.63	1.44	1.33	1.26	1.21	1.14	1.09
	0.4	6.63	3.80	2.51	1.78	1.46	1.32	1.25	1.19	1.16	1.10	1.05
	0.6	5.07	3.30	2.27	1.71	1.43	1.34	1.29	1.24	1.18	1.08	1.00
	0.8	4.01	2.70	2.01	1.57	1.44	1.37	1.31	1.24	1.17	1.05	1.00
	1.0	3.25	2.30	1.75	1.49	1.40	1.34	1.27	1.20	1.13	1.01	1.00
	2.0	1.52	1.50	1.45	1.39	1.34	1.20	1.08	1.03	1.00	1.00	1.00
	5.0	1.11	1.10	1.07	1.06	1.04	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

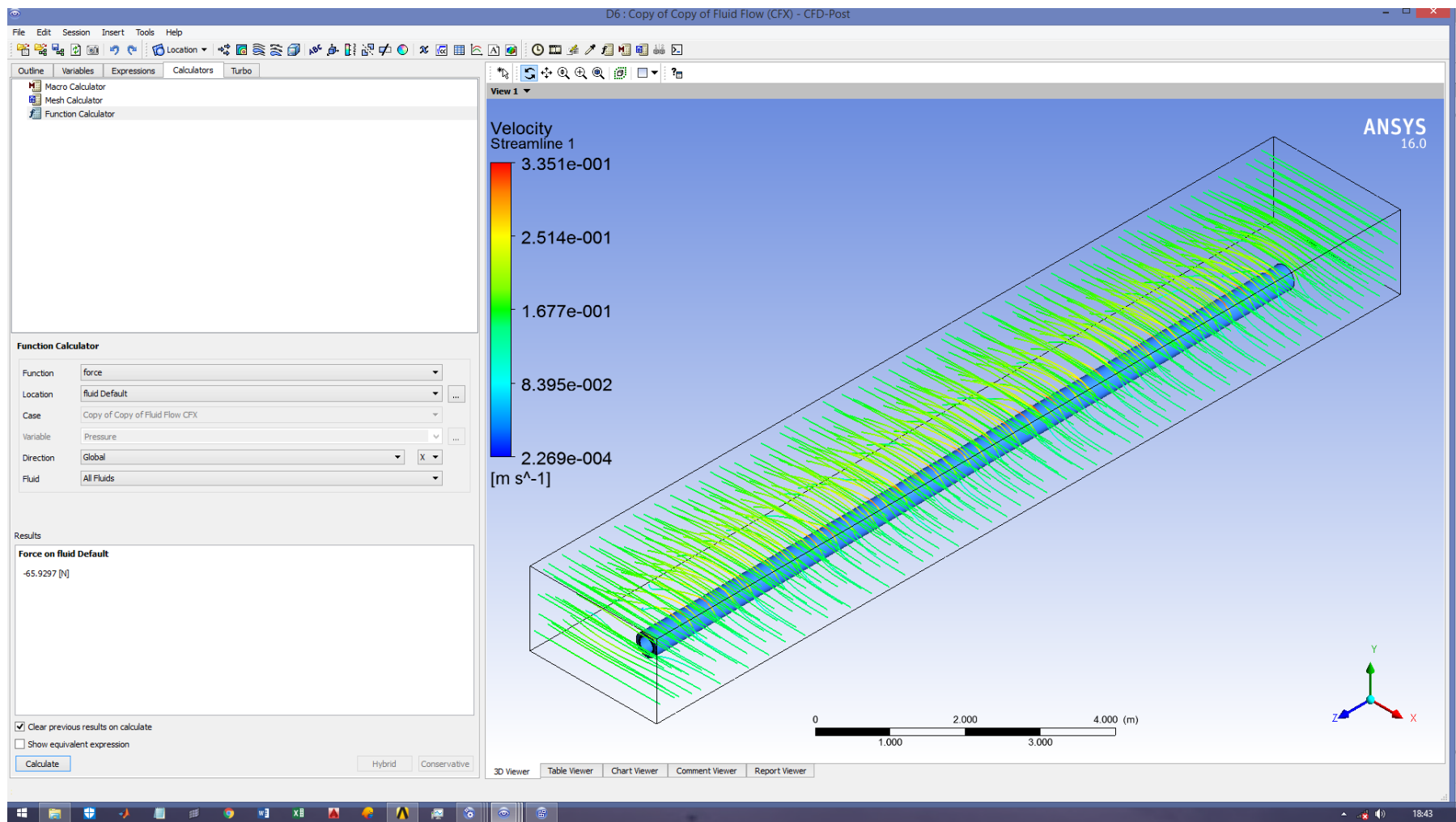
Table 3-10 Peak vertical load coefficients												
C_Z^*		K^*										
		≤ 2.5	5	10	20	30	40	50	60	70	100	≥ 140
M^*	0.0	5.00	5.00	4.85	3.21	2.55	2.26	2.01	1.81	1.63	1.26	1.05
	0.1	3.87	4.08	4.23	2.87	2.15	1.77	1.55	1.41	1.31	1.11	0.97
	0.2	3.16	3.45	3.74	2.60	1.86	1.45	1.26	1.16	1.09	1.00	0.90
	0.3	3.01	3.25	3.53	2.14	1.52	1.26	1.10	1.01	0.99	0.95	0.90
	0.4	2.87	3.08	3.35	1.82	1.29	1.11	0.98	0.90	0.90	0.90	0.90
	0.6	2.21	2.36	2.59	1.59	1.20	1.03	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90
	0.8	1.53	1.61	1.80	1.18	1.05	0.97	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90
	1.0	1.05	1.13	1.28	1.12	0.99	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	2.0	0.96	1.03	1.05	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	5.0	0.91	0.92	0.93	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
	10	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90

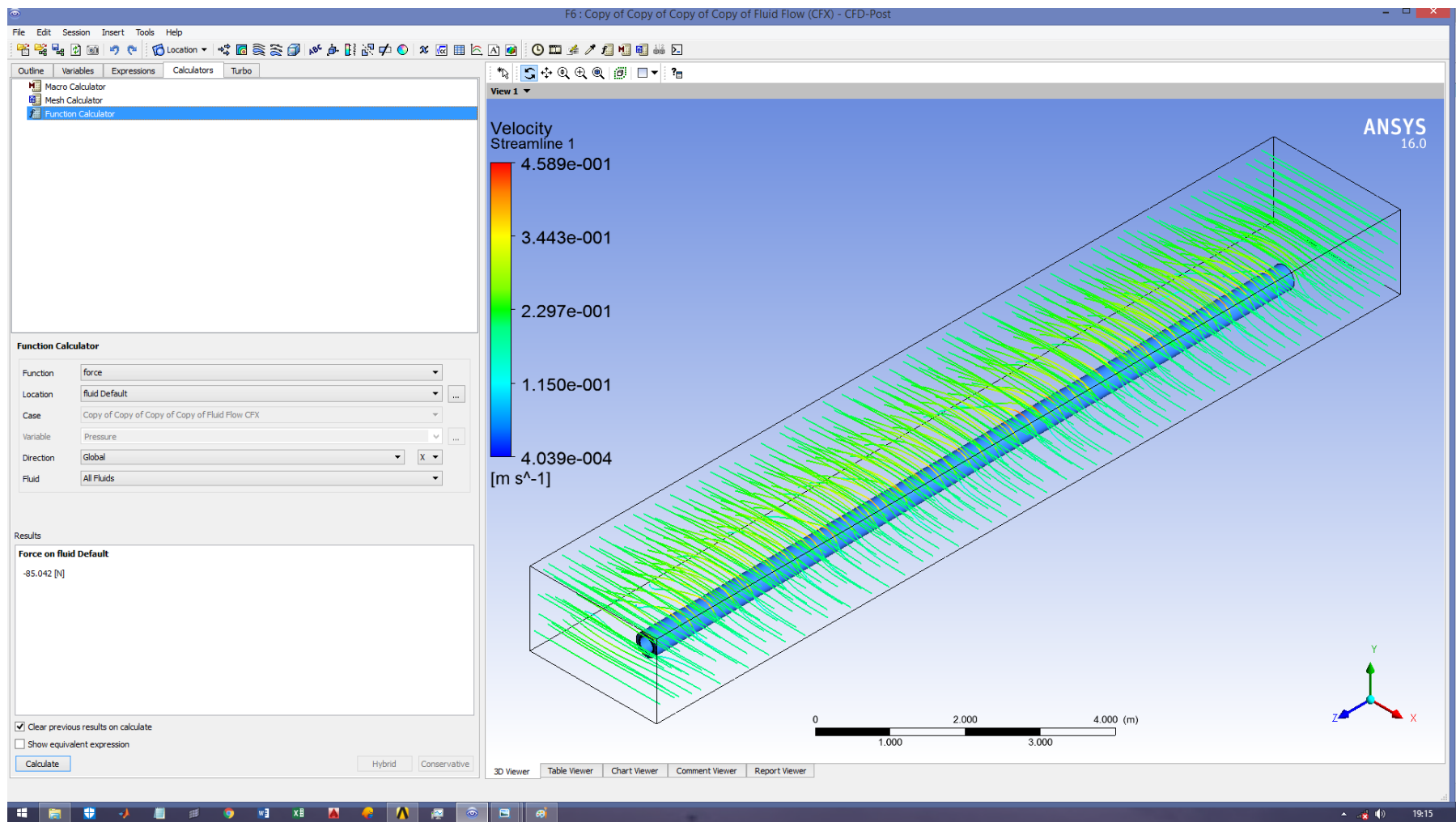
Dari tabel didapatkan:

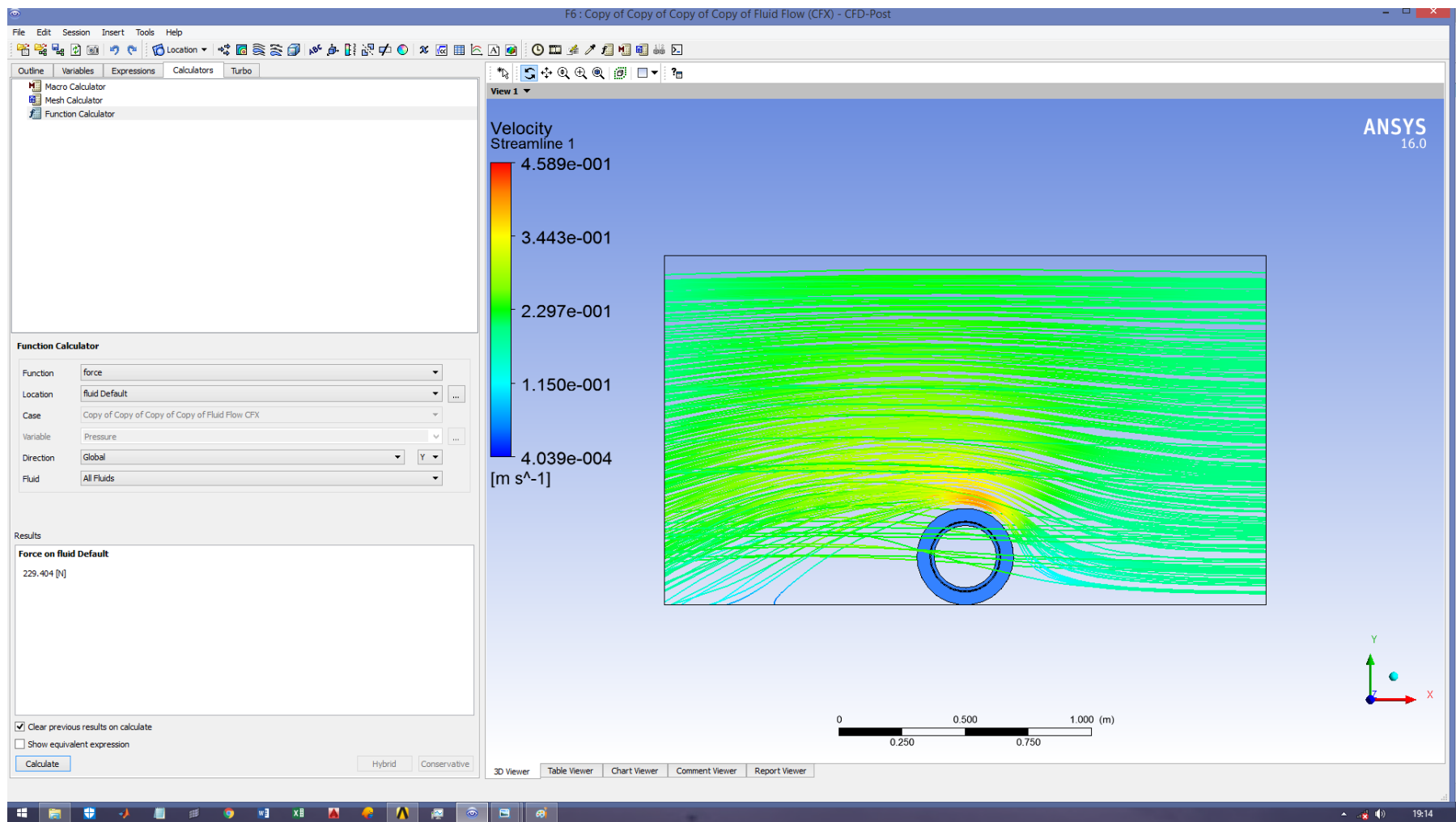
$$C_y^* = 4,351$$

$$C_z^* = 3,488$$

LAMPIRAN V
Permodelan ANSYS CFX







BIODATA PENULIS



Intan Dwi Amalia lahir di Surabaya pada tanggal 05 Maret 1998. Penulis menempuh pendidikan dari SDN Krembangan Selatan VI Surabaya dan lulus pada tahun 2009. Kemudian pada tahun 2012 menyelesaikan pendidikan dari SMP Negeri 2 Surabaya lalu melanjutkan di SMA Negeri 1 Surabaya dan lulus pada tahun 2015. Hingga akhirnya pada tahun 2015 penulis melanjutkan pendidikan ke Strata 1 di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Disamping menjalani perkuliahan, penulis juga aktif mengikuti berbagai pelatihan dan seminar yang berhubungan dengan bidang kelautan untuk menambah pengetahuan dan wawasan. Selain itu, penulis juga mengikuti berbagai kepanitiaan dan organisasi untuk mengasah *softskill*. Adapun organisasi yang diikuti penulis diantaranya sebagai staff departemen dalam negeri Himatekla FTK ITS 2016/2017, bendahara umum Himatekla FTK ITS 2017/2018. Kemudian kepanitiaan yang diikuti penulis yaitu sebagai fasilitator acara GERIGI ITS 2016, kepala divisi dana usaha ILITS 2017, dan panitia Migas Goes To Campus 2017, serta kepala divisi public relation OCEANO ITS 2018. Pada tahun 2018, penulis berkesempatan untuk melaksanakan kerja praktek di Kangean Energi Indonesia Ltd. selama kurang lebih 2 bulan.

Alhamdulillah penulis ucapkan hingga akhirnya pada tahun 2019, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis *On Bottom Stability Trunkline*: Studi Kasus dari *Condensate Tank* di Kilang Minyak Menuju SPM di Area Pegerungan Besar”. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan memberikan hal positif terhadap ilmu pengetahuan dan teknologi bidang kelautan. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih. Apabila terdapat kritik maupun saran dapat disampaikan melalui email: intandwiamalia@gmail.com.